# Untersuchungen

über einen

# Tschernosëm (Schwarzerde)

aus S.-W.-Russland

und

# sein Nährstoffbedürfnis.

---

Inaugural-Dissertation

vorgelegt der

hohen philosophischen Fakultät der Universität Leipzig

zur

Erlangung der Doktorwürde

von

**Alexander von Ugrimoff**
aus Moskau.

ACAD. LAND BAT. BUR.

Druck von Hermann Beyer & Söhne (Beyer & Mann) in Langensalza.

1905.

Angenommen von der mathematisch-naturwissenschaftlichen Sektion auf Grund der Gutachten der Herren Kirchner und Credner.

Leipzig, den 26. Mai 1905.

Der Procancellar
**Seeliger.**

# Inhalt.


Seite

**Einleitung** . . . . . 1

I. **Entstehung des Tschernosëms** . . . . . 2

Die Meerhypothese . . . . . 3

Die Sumpfhypothese . . . . . 3

Die phytologische Hypothese . . . . . 5

Die Lösung des Problems über die Entstehung des Tschernosëms von Prof. Kostytscheff und Prof. Dokutschaeff . . . . . 6

Anschauung von Prof. Prjanischnikoff . . . . . 12

Schluß . . . . . 14

II. **Die Lage der Felder des untersuchten Tschernosëms** . . . . . 15

Die Struktur des Tschernosëms . . . . . 16

Die Mächtigkeit der Humusschicht . . . . . 16

Das Relief . . . . . 18

Das Relief der Felder Samtschiki . . . . . 18

Der Humusgehalt . . . . . 19

Einfluß des Reliefs . . . . . 21

III. **Die mechanische Zusammensetzung der Schwarzerde Samtschiki** . . . 24

Sein Verhalten gegen Wasser und Wärme . . . . . 25

IV. **Bestimmung des Nährstoffbedürfnisses** . . . . . 26

A. Chemische Bodenanalyse . . . . . 26

B. Bestimmung der von den Pflanzen leicht aufnehmbaren Phosphorsäure . 31

C. Der Vegetationsversuch in Gefäßen . . . . . 33

Die Düngemittel . . . . . 34

Die Versuchspflanze . . . . . 35

Das Saatmaterial . . . . . 36

Art der Saat . . . . . 36

Das Begießen . . . . . 36

Die Belichtung . . . . . 37

Schutz gegen Störungen . . . . . 37

Vegetationsverlauf . . . . . 38

Die Ernte . . . . . 39

Resultate des Vegetationsversuches . . . . . 40

D. Die chemische Untersuchung der geernteten Erträge . . . . . 47

E. Der Feldversuch . . . . . 55

Resultate des Felddüngungsversuchs . . . . . 58

V. **Rentabilitätsberechnung** . . . . . 60

VI. **Untersuchungsmethoden** . . . . . 61

Bodenuntersuchungen . . . . . 61

Untersuchung der Düngemittel . . . . . 62

Untersuchung der Sommerweizenernte auf Stickstoff, Phosphorsäure und Trockensubstanz . . . . . 64

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41545805_0104

# Einleitung.

Der Erfolg einer landwirtschaftlichen Unternehmung ist eng mit der möglichst vorteilhaften Ausnutzung des Bodens verknüpft. Welche Zweige der Landwirtschaft auch immer in der betreffenden Wirtschaft kultiviert werden, die Rentabilität des Betriebes wird stets durch die Ertragsfähigkeit des Bodens, des Hauptfaktors des landwirtschaftlichen Unternehmens, bestimmt. Deshalb ist es eine Hauptaufgabe des praktischen Landwirts, sich mit den Eigenschaften und Bedürfnissen seines Bodens, mit seinem Nährstoffgehalte und dem Grade seiner Fruchtbarkeit vertraut zu machen. Besonders groß ist die Bedeutung einer derartigen Erforschung des Bodens für die landwirtschaftlichen Verhältnisse in Rußland, wo die Wissenschaft noch verhältnismäßig wenig Eingang in die Praxis gefunden hat.

Die Feststellung der Eigenschaften des von mir bewirtschafteten, im Gouvernement Volhynien gelegenen Bodens, die Beantwortung der Frage nach seinem Vorrat an den für die Pflanze notwendigen Nährstoffen auf Grund von Versuchen mit künstlichen Düngemitteln und endlich die Berechnung der Rentabilität einer derartigen Bodenbereicherung — alle diese Punkte sollen nachfolgend einer eingehenden Untersuchung und Erörterung unterworfen werden.

Bei der Diskussion dieser praktisch wichtigen Fragen mußte ich auch theoretisch interessante Punkte berühren: wie und durch welche wissenschaftlichen Methoden kann sich der Praktiker über die Fruchtbarkeit und den Reichtum seines Bodens orientieren und welche Vor- oder Nachteile gewähren die verschiedenen Methoden? In welchem Verhältnis steht der Gehalt des Bodens an Pflanzennährstoffen zu seiner Fruchtbarkeit usw.? Eine Besprechung dieser Fragen ist am Platze einerseits, weil es noch keine Methode zur Bestimmung der Menge der durch die Pflanze aufnehmbaren Nährstoffe gibt, deren Ergebnis zuverlässige Hinweise für die Anwendung namentlich der künstlichen Düngemittel enthält, andrerseits stimmen auch die Ansichten der Forscher über den verschiedenen Wert der Methoden nicht überein. Während einige die sogenannte chemische Analyse des Bodens für den richtigen Weg halten, suchen andere dasselbe Ziel durch die Unter-

suchung der physiologischen Eigenschaften der Pflanzen und durch die Analyse der auf dem betreffenden Boden gewachsenen Pflanzen selbst zu erreichen. Endlich wird in immer größerem Maßstabe die für den Praktiker bequemste und seinen Anforderungen am meisten entsprechende Methode des Feldversuches angewandt.

Da noch keins der bisherigen Verfahren eine sichere Grundlage für die exakte Lösung der Frage nach dem Düngebedürfnis des Bodens zu bieten im stande ist, so hielt ich es notwendigerweise für angebracht, meinen Boden nach allen vier Arten zu befragen. Zuerst wurde die Analyse des durch 10prozent. Salzsäure erhaltenen Bodenauszuges ausgeführt. Sodann wurden Vegetationsversuche in Gefäßen angestellt, die dabei geernteten Pflanzen der chemischen Analyse unterworfen und endlich alle so erhaltenen Resultate durch den Feldversuch geprüft. Der Feldversuch gestattete mir auch, die Rentabilität der künstlichen Düngung auf unserem Schwarzerdeboden zu ermitteln.

Die für meine Untersuchungen in Frage kommende Bodenart ist die russische Schwarzerde „Tschernosëm." Dieselbe ist durch ihre Fruchtbarkeit berühmt und hat bisweilen einen so großen Reichtum an Nährstoffen und besonders an Humus, wie er in anderen Bodenarten meistens nicht angetroffen wird. Seine besonderen physikalischen und chemischen Eigenschaften verdankt der Tschernosëm einem eigenartigen Bildungsprozeß, und dies bestimmte mich auch, seinen Ursprung und seine Entstehung in einem besonderen Abschnitte zu behandeln.

---

## I. Die Entstehung des Tschernosëm (der Schwarzerde).

Der Tschernosëm nimmt ungefähr einen Flächenraum von 100000000 ha ein und erstreckt sich von den Karpaten in nordöstlicher Richtung bis zum Uralgebirge und zum Teile noch nach Sibirien hinein Mit Rücksicht auf die große Ausdehnung dieser Bodenart, die fast $^1/_3$ des europäischen Rußlands bedeckt, und auf seine Bedeutung für die Landwirtschaft dürfte es nicht uninteressant sein, die Frage nach der Entstehung dieses Bodens zu erörtern.

Wenn jemand alle die verschiedenen, weitläufigen Hypothesen und Ansichten über die Entstehung des Tschernosëms eingehend besprechen wollte, so würden diese Ausführungen allein schon den Raum einer Abhandlung ausfüllen. Ich muß mich daher auf eine kurze Charakteristik jener Hypothesen beschränken, die am geeignetsten erscheinen, über die Entstehung des von mir untersuchten und bebauten Bodens aufzuklären.

Alle über diese Bodenart in der Literatur vertretenen Anschauungen lassen sich je nach dem Faktor, welcher bei der Entstehung der Schwarzerde

die Hauptrolle gespielt hat, in 3 Gruppen einteilen. Diese drei Faktoren sind: das Meer, die Süßwassersümpfe und die Vegetation.

## Die Meer-Hypothese.

Das Meer, welches zuerst die Ebene bedeckte, wich nach Süden und Süd-Osten zurück und ließ auf der Erdoberfläche einen salzreichen Schlamm zurück. Auf diesem Schlamme bildete sich eine dicke Schicht von Schwarzerde, das Resultat der Verwesung einer Menge von Schilf und anderen Sumpfpflanzen, die auf den Morästen wuchsen, welche die Ebene nach dem Zurücktreten des Meeres bedeckten. Diese Entstehungstheorie wurde zuerst von dem berühmten Pallas im Jahre 1799 aufgestellt.[1]) Ihm schlossen sich mehr oder weniger auch andere Vertreter dieser Hypothese an. Der berühmte englische Geologe Murchison weist auch auf die Entstehung der Schwarzerde aus dem Meeresschlamme hin, fügt aber eine Voraussetzung hinzu: „die Schwarzerde konnte infolge der Zerstörung des schwarzen Jura-Schieferletten, der so einfarbig in Nord- und Mittelrußland ist, entstanden sein." „Starke Strömungen brachten diesen Schieferletten in aufgeschlämmtem Zustande von Norden bis zu ihrer äußersten Wirkungsgrenze mit und setzten ihn weit unter der südlichen Verbreitungslinie der eratischen Blöcke ab."[2])

Der von Pallas aufgestellten Theorie stimmt in allgemeinem auch Petzgold bei; jedoch bringt er das Vorkommen von Humus, welcher der Schwarzerde ihre charakteristische Färbung verleiht, hauptsächlich mit meerbewohnenden Tierorganismen in Verbindung.[3]) Was nun die Grundlagen anbetrifft, auf die sich die Schöpfer dieser Hypothese stützten, so waren es einerseits äußerliche Beobachtungen der Schwarzerdegebiete, andrerseits einzelne zufällig auftretende Erscheinungen. Pallas sprach seine Meinung aus unter dem Eindrucke der Stawropolischen Steppen, welche aber nur den äußersten Fleck der am Kaspischen Meer anliegenden Schwarzerde-Region bilden; die Nähe des Meeres und die Möglichkeit eines Einflusses desselben brachten ihn auf seine Hypothese. In der weiten Ausdehnung und in der gleichförmigen Ausbildung der Schwarzerde sahen diese Gelehrten den Beweis für deren marine Entstehung.

## Die Sumpf-Hypothese.

Die Anschauung von der Entstehung der Schwarzerde aus den Süßwassersümpfen tauchte später auf und fand bald zahlreiche Anhänger. Wie

[1]) Pallas, Bemerkungen auf einer Reise in die südlichen Statthalterschaften des russischen Reiches. Bd. I. S. 442.

[2]) Murchison, The Geologie of Russia in Europe and the Ural mountains. T. II. S. 550 (russisch.)

[3]) Bullet. scientifique de l'académie des sciences de St. Petersb. I. IX. 1851. S. 75.

Pallas durch die Bildung von Schwarzerde in der Nähe der Meere zu seiner marinen Hypothese kam, so diente für Eichwald[1]) die Tatsache, daß die schwarze Erde sich bis zu großer Entfernung vom Meere ausbreitet, als Beweis für ihre Entstehung aus Süßwassersümpfen. Die Sümpfe trockneten nach und nach aus und durch die langsame Verwesung der sie bewohnenden Tier- und Pflanzenorganismen bildete sich unter dem Einflusse des warmen Klimas und unter der zerstörenden Einwirkung der Atmosphäre die Schwarzerde. Zur Begründung dieser Auffassung wurde irrtümlicherweise angeführt, daß die Schwarzerde an einigen Stellen dem Torfboden ähnlich, daß es ihr eigentümlich sei, besonders mächtige Schichten an tiefer gelegenen Stellen zu bilden, deren Grund für Wasser undurchlässig ist. Zwar wies eine mikroskopische Untersuchung von Proben, die zwei Stellen entnommen waren, einige Diatomaceen und Phytolitarien auf; jedoch begegnet man diesen Gattungen, wie sich neuerdings herausgestellt hat, auch in allen neuesten Ablagerungen, also nicht nur in Moorböden. Diese Hypothese scheint eine historische Bestätigung in den Aufzeichnungen Herodotos zu finden, wonach das jetzige Südrußland von undurchdringlichen Sümpfen bedeckt war.

Professor Borissjak wies außerdem noch auf die gleichmäßige Durchmischung aller Teilchen dieser Erde hin und glaubt diese Erscheinung auf die Wirkung des See- und Sumpfwassers[2]) zurückführen zu dürfen. Das Vorhandensein von Land- und Süßwassermollusken im Tschernosëm betrachtete Romanowsky als einen zweifellosen Beweis für die Richtigkeit der Sumpfhypothese. Auf Grund der Untersuchung eines Flußuferprofils mit übereinandergelagerten Tschernosëm- und Lehmschichten äußerte sich Romanowsky über die Entstehung dieser Schwarzerde wie folgt: Die verwesten Pflanzenreste wurden von Erde bedeckt, die von den Frühjahrsüberschwemmungen bei nicht tiefen, doch breiten Strömungen aufgeschwemmt wurde. Diese Strömungen durchzogen die sumpfigen Niederungen und vermischten zarte Pflanzenüberreste und die Pflanzen selbst mit lehmigen und sandigen Teilchen. Wangenheim von Qualen vergleicht den Tschernosëm mit einer Mischung von Morastschlamm, Sand und anderen Materialien und indem er Nordrußland mit seinen Sümpfen im Sinne hat, entwirft er ein phantastisches Bild einer Weltkatastrophe, eines Stromes, der auf dem Wege von Norden nach Süden riesige Massen von Schlamm, Torferde und anderen zerstörten Pflanzenresten mit sich riß, sie möglichst fein zerrieb, mit den Mineralteilen des Stromes selbst vermischte, das alles nach Süden brachte und hier als Tschernosëm ablagerte.[3])

Bei Aufstellung aller dieser Hypothesen hat man infolge der äußerlichen Ähnlichkeit des Tschernosëm mit dem Moorboden und Morasthumus

[1]) Eichwald, Palaeontologie von Rußland. 1850. S. 237.

[2]) Professor Borissjak, Über den Tschernosëm. 1852. S. 48 (russisch).

[3]) Arbeiten der Kais. freien Gesellschaft für Sozial-Wissenschaften (russisch). 1854. S. 64. 65. (Trudi Imper. wolno-ekonom. obtschestwa.)

für identisch gehalten, obgleich diese Gebilde geologisch doch sehr verschiedenartig sind. Das Vorhandensein der Süßwassermuscheln könnte als wichtiger Beweis für diese Hypothese gelten; doch findet man dieselben nicht im typischen Steppentschernosëm, sondern nur in angeschwemmten, also sekundären, in früheren See- und Flußebenen abgelagerten Abarten desselben.

## Die phytologische Hypothese.

Die Anschauung, daß der Tschernosëm infolge der Verwesung und Anhäufung des Steppenpflanzenhumus entstanden sei, herrschte schon früher als alle übrigen wissenschaftlichen Theorien über die Entstehung dieser Bodenart. Bei der Bevölkerung der Schwarzerderegion Südrußlands finden sich noch heutigen Tages in ihren Sagen Andeutungen, die auf früher in diesen Gegenden vorhandene unabsehbare Steppen hinweisen. Das Volk erklärt sich den heutigen Zustand d. h. die Entstehung des Tschernosëms aus Steppenkraut, eine Auffassung, die bei Murchison, Borissjak und Dokutschaeff Anklang fand. In der Literatur brach sich diese Ansicht erst Bahn, als die Frage nach der Entstehung des Tschernosëms aufgeworfen wurde. Zu gleicher Zeit mit Pallas in einem von diesem herausgegebenem Buche äußert sich Güldenstädt folgendermaßen: „es zeigt sich eine unabsehbare Steppe oder Ebene, die mit einer ganz schwarzen fetten Dammerde gemeiniglich zwei bis vier Fuß mächtig bedeckt ist. Es ist gewiß schwer, den Ursprung dieses der schönsten künstlichen Gartenerde gleichen Mulms zu bestimmen. Nicht ganz unwahrscheinlich könnte man sie daher leiten, daß in diesen vielleicht von jeher wenig bewohnten Gegenden, die von Tieren nicht verzehrten und ungestört wuchernden Pflanzen jährlich ganz haben verfaulen und dadurch den Mulm so beträchtlich anhäufen können.“[1])

Unter den über die Entstehung der Schwarzerde herrschenden Anschauungen ist folgende nicht uninteressant, da sie das Bestreben erkennen läßt, phytologische und marine Hypothese zu vereinen: „Beim Zurücktreten hinterließ das Meer einen schlammigen Boden, welcher sich mit einer entsprechenden Vegetation bedeckte; das Wasser lief unterdessen mehr und mehr ab; es entstanden große schlammige Ebenen, die sich im Laufe der Jahrhunderte, vielleicht auch Jahrtausende, durch die alljährlich sterbende und sich erneuernde Pflanzenwelt mit einer Schicht von Tschernosëm bedeckten.[2])

Die späteren Forscher beschränken sich nicht nur auf die Vermutung, daß die Schwarzerde infolge der lokalen Verwesung der Pflanzenwelt entstanden sei, sondern sind auch bestrebt, eine Erklärung dieses Verwesungsprozesses zu finden; man sucht nach Ursachen, die diesen Prozeß

[1]) Güldenstädt, Reise durch Rußland. Herausgegeben von Pallas. 1778. S. 34 (deutsch.)

[2]) Ewersmann, S. 53.

hervorgerufen haben; es entsteht die Frage, inwiefern diese Verwesung von der Art des Urbodens, der Temperatur nnd der Feuchtigkeit abhängig ist, mit einem Worte, die Wissenschaft bemüht sich, jene Faktoren zu finden, welche eine derartige Verwesung der organischen Überreste bewirkten, die zu einem „Unterschied des Tschernosëms von anderen an Humus reichen Bodenarten sowohl an Quantität wie an Qualität des Humus geführt haben". [1] Diese Worte sind dem Werke eines Autors, der unbekannt zu bleiben wünschte, entnommen; sein Werk ist nur mit den Buchstaben A. P. gezeichnet. Er war der erste, welcher die Eigentümlichkeit des Pflanzenhumus im Tschernosëm vermutete, die Notwendigkeit besonderer Verwesungsbedingungen für seine Entstehung erkannte und daher auf die Notwendigkeit einer speziellen Untersuchung dieser eigentümlichen Bodenart hinwies. Für die Bedingungen der Bildung des Tschernosëms nimmt A. P. an: hohe Temperatur, Mangel an überflüssiger Feuchtigkeit und lockern, für die Luft leicht durchlässigen Untergrund, nämlich Sandstein. Die letzte Voraussetzung ist nicht richtig, denn der Tschernosëm lagert auf verschiedenen Gesteinsarten, während der Hinweis auf die hohe Temperatur und auf den Mangel an überflüssiger Feuchtigkeit durch spätere Forschungen bestätigt worden ist. A. P. gibt auch folgende Erklärung für die Bildung der mächtigen Schwarzerdeschicht: „man kann nicht bestreiten, daß der Humus, der sich aus den Überresten der auf diesem Boden wachsenden Pflanzen gebildet hat, durch Schnee- und Regenwasser auf eine bedeutende Tiefe mechanisch mitgerissen wird." [2] Diese Erklärung wurde lange für richtig gehalten und selbst ein Kenner und Forscher des Tschernosëms, Dokutschaeff, schloß sich ihr an; erst durch die Forschungen Kostytscheffs wurde deren Richtigkeit in Zweifel gestellt. A. P. schließt seine Mitteilungen über den Tschernosëm mit folgenden Worten: „der Tschernosëm ist eine verwitterte Schicht der oberen Bodenarten der ältesten Sedimentbildungen, hauptsächlich des Sandsteins. Er unterscheidet sich von den anderen Bodenarten durch die Menge des in ihm enthaltenen, besonders eines in Alkali nicht löslichen Humus, der sich bei besonderen Bedingungen des Bodens und Klimas aus Graspflanzen gebildet hat." Hier finden zum ersten Mal alle früher angeführten Faktoren Berücksichtigung, deren nachträgliches Studium zur Lösung der komplizierten Frage geführt hat. A. P. hat mehr zu einer richtigen Fragestellung, als zu einer wissenschaftlichen Bearbeitung des Problems beigetragen. Seine Ausführungen haben daher eine methodologische Bedeutung.

Jetzt tritt die Frage nach dem Ursprung der Schwarzerde aus dem Gebiete der Hypothese in das der wissenschaftlichen Forschung ein. Der

---

[1]) A. P., Zeitschrift des Ministerium der Reichsdomänen. J. 1852—53. B. XLIV. Bibliographie. S. 12—14.

[2]) A. P. ibidem. S. 14.

Untergrund, das Klima und die Pflanzenwelt der Schwarzerderegion sind von nun an Gegenstand eingehender Untersuchungen.

Ruprecht, Mitglied der Akademie der Wissenschaften in Petersburg, den man den Vater der wissenschaftlichen Bearbeitung dieses Problems nennt, publizierte im Jahre 1866 eine Schrift „Neuere geo-botanische Untersuchungen über den Tschernosëm,“[1]) in welcher er die Entstehung des Humus in dem Rasenboden und den zweifellosen Zusammenhang zwischen dem Schwarzerdehumus und der Steppenvegetation darlegte. Ruprecht nimmt zwei Entstehungsarten der Schwarzerde an: wenn sie auf sandigem oder sandig-lehmigem Diluvialboden lagert, so ist sie durch Infiltration des Humus von seiten des Regenwassers und schmelzendem Schnees entstanden; auf der Granitsteppe in Südwestrußland, auf Kalkschichten (Simbirsk), auf Mergel (Malmysch) hingegen bildete sich die Schwarzerde unmittelbar auf festem oder verwittertem Felsboden durch den corrodierenden Einfluß der Wurzeln, welche die Gesteine zerstörten und die losgelösten Mineralpartikel nach oben hoben.

Auf die Bedeutung des Untergrundes bei der Bildung der Schwarzerde geht Ruprecht nur kurz ein; er spricht die Vermutung aus, daß die unorganischen Bestandteile des Tschernosëms, der auf festem oder verwittertem Gestein lagert, unmittelbar aus der Pflanze und erst mittelbar aus dem mineralischen oder später vegetabilisch-mineralischen Untergrunde entstanden.

Genannter Autor schreibt im Vergleich zu den anderen Faktoren (Untergrund und Klima) dem Einflusse der Vegetation eine vorherrschende Bedeutung zu.

Eine üppige Steppenvegetation muß daher vorausgegangen sein, deren Entwicklung eine entsprechende Bodenart, welche den Untergrund des heutigen Tschernosëms bildet, bedingte.

Leider macht uns Ruprecht mit den Eigenschaften dieser Bodenart nicht näher bekannt. Der Ansicht Karpinskys, die Schwarzerde wäre ein von Pflanzenhumus durchdrungener Löß,[2]) schlossen sich auch andere Forscher wie Kontkewitsch und Agapitoff, an. Orth (Berlin) bringt die Schwarzerde mit dem Diluvialmergel in engsten Zusammenhang. Die Schwarzerde selbst hält er nicht einmal für eine selbständige, typische Bodenart, sondern nennt den Tschernosëm „humoser Lehm- bis Tonboden“.[3]) Schmidt geht in dieser Beziehung noch weiter und erklärt das Entstehen der Schwarzerde ausschließlich aus den Eigenschaften des Muttergesteins und des Untergrundes,

[1]) In „Bulletin de l'académie imperiale des sciences de St. Petersbourg.“ Tome neuvième. 1866.

[2]) Barbott de Marni und Karpinsky, Geologische Untersuchungen des Gouvernements Wolynien. Sammlung wissenschaftlich-historischer Abhandlungen der Bergbauschule. Jahrg. 1873.

[3]) Dr. Orth, Die Schwarzerde und ihre Bedeutung für die Kultur. Die Natur, 1877, No. 3, S. 37.

indem er den Tschernosëm als Produkt der Verwitterung der oberflächlichen Zone des Dnjeprschen Granitmassivs definiert. Die Ursache solcher einseitigen Erklärungen liegt in der übereilten Verallgemeinerung lokaler Beobachtungen. Aus ihrer geringen Zahl ließ sich ein Urteil über die gesamte Schwarzerderegion nicht bilden; namentlich durfte man aus dem Vorhandensein des Lößes oder Granits als Unterböden in einem Teile der Schwarzerderegion nicht den Schluß ziehen, daß die Schwarzerde immer an einen Löß- oder Granitboden gebunden sei. Dessenungeachtet ließ das an verschiedenen Stellen gesammelte reichhaltige Beobachtungsmaterial die allgemeinere Folgerung zu: die Schwarzerde lagert auf verschiedenen Gesteinsarten; sie trägt jedesmal den Charakter derjenigen Gesteinsart, die ihr als Untergrund dient: ihre Entstehung und Bildung ist eine lokale, oberflächliche.

Durch die wissenschaftlichen Forschungen Ruprechts wurde die Art der Entstehung des Pflanzenhumus in der Schwarzerde festgestellt; andere Forscher hoben die Bedeutung des Untergrundes hervor; unaufgeklärt blieb die Frage nach der Wirkung des Klimas bis zum Erscheinen des berühmten Werkes von Prof. Dokutschaeff, Russischer Tschernosëm, 1883. Dieser unermüdliche Forscher der Schwarzerderegion sammelte im Verein mit seinen Schülern Beobachtungen in den verschiedensten Teilen der Schwarzerderegion. Gestützt auf 285 Bestimmungen des Humusgehalts entwarf er eine Karte des russischen Tschernosëms. Diese läßt erkennen, daß der an Humus reichste Bodenstrich in der Mitte der Schwarzerderegion liegt; von hier aus verschwindet der Tschernosëm allmählich und unmerklich gegen N.-W. und S.-O. Eine derartige Verteilung des Humus in der Schwarzerde bringt Dokutschaeff mit dem Klima in Verbindung. Der mittlere Schwarzerdestrich, diese mächtigste und humusreichste Axialzone der Schwarzerderegion, entspricht — nach Dokutschaeff — dem für die Entstehung des Tschernosëms günstigsten Klimastreifen, der zwischen den klimatisch weniger günstigen nördlichen und südlichen Bezirken gelegen ist. „Vom Klima aber hängt ab: a) die Qualität der Vegetation, b) ihre Quantität (jährlicher Zuwachs), c) die auf der Oberfläche der Erde und unter derselben jährlich verwesende Pflanzenmasse, d) der Charakter der Verwesung der Pflanzenmasse (milder oder saurer Humus)." [1]) Bei der Bildung des Tschernosëm muß der jährliche Zuwachs der Vegetation viel größer sein als die Menge der absterbenden Pflanzen. In Nordrußland, wo ein Überfluß an Feuchtigkeit vorhanden ist, wo es viele Wälder und Sümpfe gibt, wo es an Wärme mangelt, wo der Winter 6—7 Monate, die warme Jahreszeit aber nur 3—4 Monate dauert, wo die Bodenausdünstung sehr gering und die Erde fast immer mehr oder weniger naß und wenig durchlässig für die atmosphärische Luft ist — dort geht auch die Verwesung der Pflanzenmasse langsamer und nicht so vollständig vor sich; daher wird auch der sich in den nördlichen Gebieten

[1]) Dokutschaeff, Tchernozéme de la Russie, 1879 (russisch 1883).

bildende Humus sauer sein; es werden Torf- und Sumpfmassen entstehen. Dagegen werden in dem an Niederschlägen armen Südrußland, wo ein Überfluß an Wärme und Licht vorhanden, wo der Sommer lang und der Winter kurz, wo die Vegetationsperiode zwar kurz, aber intensiv ist, wo ein „Suchowei" (sehr trockener Wind) im Laufe von 2—4 Tagen die Brunnen austrocknet und die Vegetation versengt, wo kein Wald und nur wenige Flüsse vorhanden sind und wo die Möglichkeit einer starken Verdunstung gegeben ist, auch viel größere Pflanzenmassen über und unter der Erde der Verwesung anheimfallen. Hier kann nun der Fall eintreten, daß der jährliche Pflanzenzuwachs dem jährlichen Zerfall gleichkommt; es wird sich alsdann kein Humus im Boden ansammeln; aber der ganze zurückgebliebene Humus wird keine saure Reaktion zeigen (im Gegensatz zum „sauren" in Rußland „süß" genannt). „Selbstverständlich" — sagt Dokutschaeff weiter — „steht die wilde Pflanzenwelt in der mittleren Schwarzerderegion Rußlands unter unvergleichlich besseren klimatischen Bedingungen; hier ist weder jener Überfluß an Wärme, noch jener Mangel an Feuchtigkeit vorhanden; andrerseits fehlt auch jene überflüssige Feuchtigkeit und jener Mangel an Wärme, die den sumpfigen Charakter des Bodens von Nordrußland bedingen. Deshalb muß die Schnelligkeit der Verwesung und der Charakter dieses Prozesses in der Schwarzerderegion vorwiegend des mittleren Rußlands eine Mittelstufe zwischen dem äußersten Süden und Norden Rußlands einnehmen".[1]) Zum Beweis dieser Behauptungen führt Dokutschaeff folgende Gründe an: 1. Die Schwarzerderegion liegt nicht längs dem Parallelkreise, sondern von S.-W. nach N.-O. genau parallel gewissen Isothermen, einer gewissen Verteilung der meteorischen Niederschläge und auch einem gewissen Charakter der Gras-, teils auch der Waldvegetation. 2. Ebenderselben Richtung folgen die einzelnen Humusstreifen. 3. Gerade in der Mitte der Schwarzerderegion lagern die humusreichsten Tschernosëmböden. Aus ihnen verschwindet in der Richtung nach N.-W. und S.-O. der Tschernosëm allmählich und ganz unmerklich. 4. Bemerkenswert ist der stellenweise scharf ausgesprochene Zusammenhang der Veränderung des Charakters der Steppenvegetation mit dem allmählichen Verschwinden der Schwarzerde.[2])

Obgleich Dokutschaeff dem Klima die entscheidende Rolle zuschreibt, so war er doch kein einseitiger Forscher, benutzte vielmehr das von ihm und seinen Mitarbeitern gesammelte sehr reichhaltige Material, um auch noch andere Fragen zu erklären: so diejenigen über den „Einfluß und die Bedeutung der Muttergesteine und der Vegetation", über den „Prozeß der Vermischung des Pflanzenhumus mit dem Untergrunde", über die „Bedeutung des Reliefs der Gegend" usw. Seine Forschungen bestätigten die völlige Verschiedenheit der Gesteinsarten, auf welchen die Schwarzerde lagert und

[1]) Dokutschaeff, Russischer Tschernosëm 1883, S. 308—9.
[2]) Ebenda S. 309.

verwerfen gänzlich die frühere Ansicht von der Abhängigkeit der Tschernosëmbildung von einem bestimmten Gesteinsuntergrunde. Dokutschaeff führt aus: „Ein gutes Muttergestein ist lange nicht die einzige Bedingung zur Bildung von Schwarzerde; diese ist ein Resultat des gemeinsamen Wirkens des Klimas, der Vegetation und des Muttergesteins.“[1])

Ein anderer Forscher des russischen Tschernosëms, Kostytscheff, betrachtete die Frage vom Einflusse des Klimas von einem anderen Standpunkte. Er meint, daß dieser Einfluß ein mannigfaltiger, sehr komplizierter und schwer festzustellen sei. Die Frage nach dem Ursprunge der Schwarzerde ist nach Kostytscheff die Frage nach den Bedingungen, die den vollen Zerfall der Pflanzen hemmten und damit die Anhäufung der organischen Stoffe bedingten. Diese Bedingungen müssen daher derart sein, daß der Zuwachs der Vegetation größer ist als ihr Zerfall. Zur Feststellung dieser Bedingungen beobachtete Kostytscheff die Zerstörung der Pflanzenmasse nach Wollnys Methode; eine große Anzahl von Experimenten, die bei verschiedenen Verhältnissen der Temperatur und der Feuchtigkeit ausgeführt wurden, bestätigten die Ansicht: „Es können solche mittlere Bedingungen der Temperatur und der Feuchtigkeit vorhanden sein, bei denen die Zerstörung am schnellsten vor sich geht. Diese mittleren Bedingungen sind gerade jenen analog, die Dokutschaeff für die Schwarzerderegion voraussetzte.“[2])

Wenn auch unter den eben erwähnten Bedingungen die Verwesung beschleunigt wird, so ist dadurch doch nicht die Anhäufung organischer Stoffe bedingt, denn in diesem Falle übertrifft der Zerfall der Vegetation den Nachwuchs. Hieraus folgert Kostytscheff, daß, wenn das Klima der Schwarzerderegion allein maßgebend gewesen wäre, die Anhäufung von Humus und damit die Bildung der Schwarzerde nicht hätte erfolgen können.

Nicht weniger interessant und wichtig ist auch der andere faktische Beweis gegen die vorwiegende Bedeutung des Klimas, nämlich daß dieses und die Verbreitung der Schwarzerde gar nicht die von Dokutschaeff behauptete Parallelität aufweisen. „In ein und derselben Gegend ist der Unterschied im Humusgehalte ziemlich verschieden. Es kommen Fälle vor, in denen man ganz an der Grenze der Schwarzerderegion Böden findet, die sehr reich an Humus sind, z. B. im Gouvernement von Nischny-Nowgorod; das wäre ausgeschlossen, wenn das Klima starken Einfluß auf die Anhäufung des Humus hätte. Endlich finden wir in Gegenden mit sehr verschiedenem Klima Schwarzerdeböden mit gleich reichem Humusgehalt, z. B. im Gouvernement von Tula, Jekatherinoslaw, im Ciskaukasien usw.“.[3])

[1]) Dokutschaeff, Russischer Tschernosëm 1883, S. 307.

[2]) Kostytscheff, Entstehung des Tschernosëm 1886, T. I: Böden der Schwarzerderegion Rußlands S. 102 (russisch).

[3]) Ebenda S. 122—123.

Weiter weist Kostytscheff auf den Fall hin, daß ein Schwarzerdestreifen (Nord-Kaukasus) perpendikulär und nicht parallel zu den andern Humusstreifen verläuft und gar nicht mit den Isothermen zusammenfällt. Alles dies läßt Kostytscheff behaupten, daß es nicht das Klima ist, welches die Bedingungen für die Bildung des Tschernosëms schafft, sondern daß andere Faktoren hierfür maßgebend sind, — die physikalischen Eigenschaften des Bodens.[1])

Kostytscheff behauptet, daß zur Anreicherung des Humus die folgende Eigenschaft des Bodens notwendig sei: „Der Boden muß eine feinkörnige Struktur haben. Die Feinheit der Bodenteilchen bedingt seine Dichte und Festigkeit und vermindert seine Durchlässigkeit für Wasser und Luft; folglich befindet sich in diesem Falle die von der Luft abgeschlossene organische Pflanzenmasse in den für den Zerfall ungünstigen Bedingungen."[2]) Wollnys Gesetz und die von Kostytscheff angestellten Versuche beweisen, daß bei derjenigen Temperatur und Feuchtigkeit, die das Klima der Schwarzerderegion charakterisieren, der Zerfall der organischen Masse größer ist als ihr Zuwachs und deshalb auch die Anhäufung von Humus und folglich die Bildung der Schwarzerde unmöglich wird. Die oberirdischen Teile der Pflanzenwelt standen unter solchen klimatischen Verhältnissen, daß sie keine Rolle bei der Entstehung des Tschernosëms spielen konnten. Deshalb mußte sich letzterer ausschließlich durch die Verwesung der in trockenem und festem Boden wachsenden Wurzeln bilden. Kostytscheff erklärt den von vielen Forschern und unter ihnen auch von Dokutschaeff ausgesprochenen Gedanken[3]) — daß der Humus von der Oberfläche in die Tiefe des Bodens einsickerte — für falsch. Der Humus auf der Erdoberfläche verbrannte, es gab also gar kein Material, das einsickern konnte. Der Humus der Schwarzerde entstand vielmehr ausschließlich aus den Wurzeln der Steppenvegetation, die auf dem festen und trockenen Boden wuchs.

Die Festigkeit und Trockenheit des Bodens wurde auch durch das Relief der Gegend begünstigt. Kostytscheff weist auf die der Schwarzerderegion eigenen Erosionsschluchten hin, indem er sich auf die Meinung des bekannten russischen Geologen Inostranzeff beruft: „Die Schluchten zerschneiden die Oberfläche, sie vergrößern die Landoberfläche und die Ausdünstung des Wassers; längs der Schluchten fließt das Regen- und Schmelzwasser rasch ab und kann nicht in die Erde einsickern; endlich dringen die Schluchten tief in die Erde und tragen zur Abzapfung der Quellen, die früher den Boden befeuchtet hatten, bei. Wenn wir erwägen, daß in der Schwarzerderegion das Relief der Gegend geradeso beschaffen ist (von

[1]) Kostytscheff, Entstehung des Tschernosëm, T. I: Böden der Schwarzerderegion Rußlands, S. 106.

[2]) Ebenda S. 117.

[3]) Dokutschaeff, Russischer Tschernosëm I, Böden der Schwarzerderegion Rußlands, S. 307.

Schluchten durchfurcht), so wird uns die wirkliche Ursache der Trockenheit des Tschernosëmbodens erklärlich erscheinen."[1])

Prjanischnikoff spricht in seiner Abhandlung über „die jetzige Lage des Problems von der Entstehung des Tschernosëms" die Meinung aus, daß, wenn auch dem Klima keine vorwiegende Bedeutung, wie es Dokutschaeff verlangt, zugeschrieben werden kann, wir doch auch keinen Grund haben, seine Bedeutung gänzlich zu verleugnen, wie es Kostytscheff getan hat. Das Klima der Tschernosëm-Region ist jedenfalls von demjenigen anderer Gegenden, wo keine Schwarzerde vorhanden ist, verschieden. Wenn wir die Quantität der Niederschläge nicht für ein Jahr (wie es Kostytscheff getan hat), sondern für den Sommer, das heißt für die Periode des schnellsten Wachstums und des stärksten Zerfalls der Pflanzenmasse berücksichtigen, so zeigt sich, daß die Schwarzerderegion einen trockeneren Sommer hat. Dasselbe gilt auch für die Wärme, welche an der Nordgrenze des Tschernosëms nach den Beobachtungen $+14$ bis $+15^0$ beträgt; nach Dokutschaeff fällt diese Grenze mit der Juliisotherme $+20^0$ zusammen. Folglich — sagt Prjanischnikoff — charakterisiert sich die Schwarzerderegion durch einen trockeneren und heißen Sommer."[2])

Prjanischnikoff untersuchte die physikalische Zusammensetzung der Tschernosëmböden aus verschiedenen Gegenden der Schwarzerderegion. Auf Grund einer Reihe von mechanischen Bodenanalysen bestätigt er die feinkörnige Struktur des Tschernosëms; die Untersuchungen weisen auf ein bedeutendes Vorherrschen der Feinerde gegenüber dem Sande hin, wodurch die Festigkeit und die Trockenheit des Bodens bedingt ist. Die Trockenheit des Klimas beschleunigt das Austrocknen des Bodens, die Trockenheit des Bodens hemmt den Zerstörungsprozess; folglich wirken in der Schwarzerderegion die Eigenschaften des Bodens und des Klimas in demselben Sinne. Die Zerstörungsprozess beansprucht nach Kostytscheffs Versuchen weit mehr Feuchtigkeit als das Wachstum der höheren Pflanzen; daraus folgt — sagt Prjanischnikoff — daß die Zunahme der Pflanzenmasse die Abnahme überwiegt, sodaß die Anhäufung des Pflanzenhumus statt finden kann.

Der Boden und das Klima der Schwarzerderegion haben aber nicht nur unmittelbar die Humusanhäufung gefördert, sondern auch mittelbar: „sie begünstigten die Verbreitung und Ansiedelung von Pflanzen mit starkentwickeltem Wurzelsystem, die ihre Lage gegen den eindringenden Wald zu behaupten verstanden."[3])

Welches Material, was für eine Pflanzenwelt diente nun zur Anhäufung des Schwarzerdehumus? Nur das Gras, Steppenpflanzen oder auch Wald?

[1]) Kostytscheff, Entstehung des Tschernosëm 1886, S. 120.

[2]) Prjanischnikoff, Die jetzige Lage des Problems über die Entstehung des Tschernosëms, S. 11.

[3]) Ebenda S. 16.

Diese Fragen erregten die Aufmerksamkeit der allerersten Forscher der Tschernosëmgegenden und wurden von den Anhängern aller drei Entstehungshypothesen der Schwarzerde erörtert. Pallas schrieb den Wäldern eine große Bedeutung zu, die mit der Zeit — wie er meinte — von den Nomaden oder Hirten verbrannt worden sein konnten.[1])

Die Mehrzahl der Anhänger der Entstehung der Schwarzerde aus Sümpfen meinte, daß neben der typischen Sumpfvegetation Wälder existiert und zur Erzeugung des Tschernosëms beigetragen haben.

Am meisten aber waren an der Lösung dieser Frage die Anhänger der phytologischen Hypothese interessiert, besonders seitdem Ruprecht die Schwarzerde als Produkt der Zerstörung ausschließlich von Steppen- aber nicht von Waldvegetation erklärt hatte. Als Gegner dieser Auffassung trat Bogdanoff auf. Derselbe begegnete an vielen Stellen der Schwarzerderegion umfangreichen Wäldern; darin sah er einen Beweis für die Möglichkeit des Entstehens der Schwarzerde in Wäldern. Er nahm an, daß in diesen jene günstigen Bedingungen, welche der Anhäufung der Pflanzenüberreste dienlich sind, vorhanden waren, nämlich: Ausschluß direkter Sonnenbestrahlung, Feuchtigkeit und reichliches Vorkommen von organischen Stoffen. Nach der Meinung von Bogdanoff soll die Humusschicht in den Wäldern sogar viel schneller als in der offenen Steppe anwachsen.[2])

Dokutschaeff dagegen wies darauf hin, daß die umfangreichsten Urwälder Rußlands (Muromschen, Alatyrschen, Kaukasischen) keine Schwarzerde bilden. Anderseits begegnet man in allen Gegenden der Schwarzerde zwischen typischen ununterbrochenen Tschernosëmstrecken sehr alten Walddistrikten auf einem Boden, der sich fast gar nicht von dem Waldboden der schwarzerdefreien Nordregion Rußlands unterscheidet. Der Wald bildet keinen Tschernosëm; er schließt das Vorhandensein desselben aus und wenn auch Wälder auf dem Tschernosëm wachsen, so haben sie sich dort schon auf fertiger Schwarzerdesteppe angesiedelt; dieses wird durch die Struktur des Bodens bestätigt; die Schwarzerde unter solchem Tschernosëmwalde hat eine ganz normale Steppenstruktur, die sich merklich von der Struktur der typischen Waldböden aller Regionen und Gegenden unterscheidet. Dies alles veranlaßt Dokutschaeff der Auffassung Ruprechts beizupflichten, „daß die Wälder selbst die Schwarzerde nie gebildet haben und nie bilden können.“[3])

Zu demselben Ergebnis gelangt auch Kostytscheff, nur ist seine Beweisführung eine andere. Er benutzt die Zahlenergebnisse der Bayerischen Wald-Versuchsstationen aus dem Werke von E. Ebermayer,[4]) nämlich die Ergebnisse, die den Unterschied zwischen der Temperatur eines offenen

[1]) Bei Güldenstädt, Reise durch Rußland. Herausgegeben von Pallas 1778, S. 34

[2]) Bogdanoff, Tiere und Vögel des Wolgagebietes, S. 209—210.

[3]) Dokutschaeff, Russischer Tschernosëm. S. 305.

[4]) E. Ebermayer, Die physikalischen Einwirkungen des Waldes usw. Berlin 1873.

Feldes und Waldes klarlegen, und welche zeigen, daß dieser Unterschied nur unbedeutend ist (1,84 ° C.). Er kommt zu dem Schlusse, daß im Walde wie in der Steppe im Laufe des Jahres ein so bedeutender oberirdischer Teil der Pflanzenmasse untergeht, daß die Anhäufung von Humus bei weitem nicht in dem Grade stattfinden kann, wie er zu Bildung der Schwarzerde nötig ist.[1]) Die Beobachtungen Kostytscheffs über den südrussischen Wald bestätigten diese Ansicht.

Was aber die Baumwurzeln betrifft, so ist Kostytscheff in diesem Punkte völlig mit Dokutschaeff einig und wiederholt dessen Meinung, daß die Wurzeln der Bäume viel zu wenig Material für die Bildung des Humus liefern. Die Schwarzerde entstand nur aus Steppen-, nicht aber aus Waldvegetation.

Es drängt sich nun die Frage auf, warum die jetzige Schwarzerderegion von jeher ein ausschließlicher Platz der Steppenvegetation gewesen ist? Die Steppenflora war die erste, die die jetzige Schwarzerderegion in Besitz nahm und da der Boden für sie günstig war, gedieh sie üppig und erstickte im Kampfe ums Dasein jeden ihr fremden Einwanderer.[2]) Die Waldanpflanzung in den Schwarzerdesteppen rechtfertigt vollkommen eine solche Erklärung. Der Wald kann sehr gut auf dem Tschernosëm wachsen, aber nur unter der Bedingung, daß der Boden gut gelockert und die Grasvegetation vernichtet wird, sonst erstickt diese die jungen Bäume. Wenn sich aber der Wald mit Menschenhilfe erst auf dem Tschernosëm angesiedelt hat, so entwickelt er sich weiter sehr gut auf diesem fruchtbaren Boden.

Wir müssen uns nun die Frage vorlegen: warum erschien gerade die Steppenflora hier als erste?

Die Frage über die Verbreitung der Pflanzengemeinschaften ist noch wenig aufgeklärt und die jetzigen Forschungen geben auch keinen Aufschluß darüber, weshalb auf der jetzigen Schwarzerderegion die ihr typische Steppenflora erschien. Kostytscheff sprach hierüber folgende Ansicht aus: „Da unumstößliche Beweise dafür vorhanden sind, daß die Flora der Schwarzerderegion, wie auch die Flora der Ungarischen Steppen einen unbedingten Zusammenhang mit der Flora der asiatischen Steppen aufweist, so ist vielleicht der eigentümliche Charakter der Schwarzerdeflora aus der ursprünglichen Einwanderung hauptsächlich asiatischer Pflanzen zu erklären."[3])

Auf Grund aller oben angeführten Hypothesen, Meinungen und Forschungen gelangen wir zu folgenden zusammenfassenden Folgerungen: Die Schwarzerde ist nichts anderes, als die veränderte, obere Schicht aller der verschiedenartigen Gesteine, die den Untergrund des Tschernosëms bilden. Diese Veränderung fand statt infolge der innigsten Vermischung

[1]) Kostytscheff, Entstehung des Tschernosëm, 1886, S. 130.
[2]) Ebenda Kap. VII.
[3]) Kostytscheff, S. 151.

des ursprünglichen Grundes mit Teilchen des Pflanzenhumus, der sich Jahrtausende lang durch die Zerstörung von Wurzeln der Steppenpflanzen anhäufte. Diese Flora wanderte wahrscheinlich aus asiatischen Steppen ein und fand in ihrer neuen Heimat günstige und ihren Bedürfnissen entsprechende Böden, setzte sich hier fest, überwucherte im Kampfe ums Dasein jede andere Vegetation und dehnte sich weithin aus. Unter dem Einflusse 1. eines geeigneten, ziemlich trockenen und heißen Sommerklimas, 2. der physikalischen Eigenschaften des Bodens: seiner Feinkörnigkeit, Festigkeit und Trockenheit, 3. des Gegendreliefs, welches diese Trockenheit durch Abführung des Boden- und Regenwassers in Schluchten und anderen Erosionsfurchen begünstigte, verfiel das stark entwickelte Wurzelsystem dieser Steppenvegetation einem Zerstörungsprozesse, bei welchem das Maß der vegetabilischen Anhäufung dasjenige ihrer Zersetzung übertraf.

Unter solchen Bedingungen und Einflüssen hat sich der Tschernosëm gebildet, jener Boden, welchen ich als Gegenstand der vorliegenden Arbeit benutzt habe.

## II. Die Lage der Felder des untersuchten Tschernosëms.

Die Felder, deren Boden das Material für diese Untersuchung geliefert hat, gehören zum Rittergute Samtschiki, welches im Starokonstantinowschen Kreise des Gouvernement Wolynien, im südwestlichen Rußland, gelegen ist. Die Gegend des Gutes wird vom Flusse Slutsch durchzogen, welcher zum Dnjeprsystem gehört. Das rechte Ufer senkt sich in zwei Terrassen zum Flusse hinab. Auf der unteren Terrasse (A), welche ebener und breiter ist

(2 bis 3 km), liegen die dicht bis an den Fluß heranreichenden Felder von Samtschiki. An diese schließt sich die zweite, schmälere, aber steilere Terrasse (B) an, welche in ein hügeliges Plateau ausläuft. Das Relief dieses Flußtales mag obenstehendes Schema veranschaulichen.

Eine derartige Lage der Felder ist, wie wir weiter sehen werden, deshalb von großem Einflusse auf die Beschaffenheit des Bodens, weil derselbe der Tätigkeit des an beiden Terrassen herabströmenden Wassers ausgesetzt ist.

## Die Struktur des Tschernosëms.

Wo sich die Schwarzerde auch finden mag, überall zeigt sie eine allgemeine Eigenschaft: eine einheitliche Struktur.

Die bis zum Ufer des Flusses reichenden Felder grenzen dort an einigen Stellen an Steinbrüche, wo eine ganze Reihe von Vertikalschnitten ein ausgezeichnetes Bild von der Bodenstruktur liefert. Die oberste Schicht ist schwarz, sie enthält eine Menge von Wurzeln und deren Überresten und geht allmählich in eine hellgelbe untere Schicht über. Man kann keine bestimmte Grenze zwischen der schwarzen und der gelben Färbung erkennen. Der Übergang in Farbe und Struktur vollzieht sich ganz unmerklich. Das beweist die Abwesenheit von Schichten und Sedimentärbildungen. Diese Struktur ist für den Tschernosëm verschiedener Ortschaften typisch; eine Bestätigung liefern die Beschreibungen der Tschernosëmprofile aus den verschiedenen Gegenden der Schwarzerderegion.

Diese Gleichmäßigkeit der Struktur erklärt sich vollkommen aus der einheitlichen Entstehung aller Schwarzerden.

In der obersten Erdschicht befindet sich die größte Menge von Pflanzenwurzeln verschiedener Steppengewächse; sowohl ganze Wurzelsysteme als auch dickere Teile mehr in die Tiefe eindringender Wurzeln sind hier vorhanden. Die Anhäufung des Humus nimmt folglich allmählich in der Richtung von oben nach unten ab. Der analytisch bestimmte Humusgehalt der Schwarzerden bestätigt durchaus diese Ansicht. Folgende von Kostytscheff[1]) aufgestellte Tabelle gibt den Humusgehalt der verschiedenen Bodenschichten, von oben angefangen, in Prozenten an.

Die Dicke jeder Schicht betrug 6 Zoll (152 mm).

| Schicht | Boden I | Boden II | Boden III | Boden IV | Boden V | Boden aus |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 5,418 | 8,112 | 9,636 | 10,105 | 9,290 | I. Woronesch-Gouvernement |
| 2 | 4,830 | 5,192 | 7,706 | 6,805 | 6.230 | II. Tschernigow- „ |
| 3 | 3,625 | 3,920 | 6,714 | 5,574 | 4,334 | III. Ekaterinoslaw- „ |
| 4 | 2,561 | 2,842 | 5,605 | 4,363 | 2,195 | IV. Harkow- „ |
| 5 | 2,587 | 2,112 | 3,565 | 3,581 | — | V. Ufa- „ |
| 6 | 1,876 | 1,467 | 3,175 | 1,926 | — | |
| 7 | 1,294 | 0,513 | 1,555 | — | — | |
| 8 | 0,778 | 0,703 | — | — | — | |
| 9 | 0,364 | — | — | — | — | |

## Die Mächtigkeit der Humusschicht.

So gleichmäßig die Struktur der Schwarzerde in den verschiedensten Gegenden und auf den verschiedensten Unterböden ist, so wechselnd ist ihre

[1]) Kostytscheff, Entstehung des Tschernosëms. 1886, S. 170.

Mächtigkeit. Sie variiert nicht nur in verschiedenen Gegenden, sondern manchmal an ein und demselben Orte. Dokutschaeff u. a. geben für die Mächtigkeit der Schwarzerde die verschiedensten Zahlen an, von einem Zoll bis zu mehreren Fuß. — Doch ist auch in dieser Hinsicht eine gewisse Gesetzmäßigkeit zu bemerken; die Mächtigkeit der Schwarzerde hängt nämlich von zwei Hauptumständen ab: 1. von der Beschaffenheit des Untergrundes und 2. vom Bodenrelief.

1. Der Untergrund. Es ist bekannt, welchen Einfluß die Beschaffenheit des Bodens, seine chemischen und mechanischen Eigenschaften, auf die Entwicklung des Wurzelsystems der Pflanze ausübt. Bei Nahrungsmangel und einigermaßen lockerem Boden entwickeln sich die Wurzeln mehr nach der Tiefe zu und bedingen alsdann durch ihre Länge auch die Mächtigkeit der Schwarzerdeschicht. Somit fällt die Grenze dieser Schicht mit der Ausdehnung der Pflanzenwurzeln zusammen. Daraus können wir ersehen, daß der Einfluß des Untergrundes und des Muttergesteins auf die Mächtigkeit der Schwarzerde sich darin äußern muß, daß auf sandigem Untergrunde die Mächtigkeit der Schwarzerdeschicht größer sein wird, als auf anderem Muttergestein. Dieser Schluß läßt sich durch Tatsachen erhärten. Dokutschaeff hat gezeigt, daß im südwestlichen Rußland der Untergrund meistens sandig und daß dort auch die Mächtigkeit der Schwarzerde im allgemeinen am größten ist. Im Nordosten herrscht ein lehmiger Untergrund vor und demgemäß ist auch die Mächtigkeit der Schwarzerdeschicht bedeutend geringer.[1])

Das in den an unsere Felder angrenzenden Steinbrüchen zu Tage tretende Relief zeigt folgendes Bild: obenauf liegt eine dunkle Schwarzerdeschicht (der Tschernosëm), welche allmählich in einen hellgelben sandlehmigen Boden übergeht. Diesem Unterboden schließt sich eine in Verwitterung befindliche grobkörnige Granitmasse an, welche in festen, grauen Granit übergeht. Der Untergrund war hier also für die Bildung langer Wurzeln und folglich einer mächtigen Schwarzerdeschicht günstig.

Wir haben es hier mit einem typischen Verwitterungsgranitboden zu tun, dessen obere Schicht durch Zerstörung der Pflanzendecke in Schwarzerde umgewandelt wurde. Diese Ansicht wird durch die von mir vorgenommene Analyse der abschlämmbaren Teile bestätigt: außer feinen Humuspartikelchen fanden sich in diesem Boden Quarzkörnchen und Glimmerblättchen.

Dieses Granitmuttergestein bildet den nördlichen Teil des vom Dnjepr bis zum Karpathen-Gebirge sich hinziehenden Granitmassivs.[2])

[1]) Dokutschaeff, a. a. O., S. 324.

[2]) Ossowski, Geologisch-geognostische Beschreibung des Wolyner Gouvernements (Arbeiten des Wolyner statistischen Komitees S. 273—274 [russisch]). „Durch die Anwesenheit von Sedimentärgesteinen wird das Wolyner Gouvernement in zwei Regionen geteilt; die Grenze zwischen beiden zieht sich ungefähr längs dem Flusse Slutsch in nordsüdlicher Richtung hin. Der kleinere östliche Teil bildet die Fortsetzung des ellipsoidalen Granitgebirges, welches hauptsächlich im Kiewschen Gouvernement ausgebildet ist und dessen südlicher Teil die Dnjeprschen Fälle (Porogi) veranlaßt."

2. Das Relief. Wenn die Mächtigkeit der Schwarzerde ausschließlich vom Charakter des Muttergesteins abhängig wäre, so müßten wir auf ähnlichen Muttergesteinen Schichten von gleicher Mächtigkeit antreffen. In Wirklichkeit ist das aber nicht der Fall, denn das Relief der betreffenden Gegend übt einen bedeutenden Einfluß auf die Mächtigkeit der Schwarzerde aus. Es unterliegt keinem Zweifel, daß von den Hebungen und Senkungen des Bodens die Verschwemmung der oberen Schichten abhängt.[1]) Durch direkte Beobachtung konnte festgestellt werden, daß bei gleichem Untergrunde die Schwarzerdeschicht verschiedene Mächtigkeit auf der Spitze eines Hügels, an seinen Abhängen, an seinem Fuße und in der Niederung aufweist. Die Flüsse spielen eine große Rolle bei der Veränderung des Bodenreliefs: sie haben einen wesentlichen Einfluß auf die Mächtigkeit der Schwarzerdeschicht benachbarter Gebiete. Wenn wir das Relief der Felder von Samtschiki betrachten, so können wir daraus leicht ersehen, daß auf der ebeneren und weniger steilen Terrasse A (siehe S. 15) ein Teil der oberen Schicht aufgeschwemmt sein muß; dieser gelangte mit den von der abschüssigeren oberen Terrasse B nach dem Flusse zu abfließenden Niederschlägen dorthin. Ich fand, daß die Mächtigkeit der Schwarzerdeschicht auf der Terrasse A diejenige auf der Terrasse B bei weitem übertrifft.

| Terrasse A | Terrasse B |
|---|---|
| 1) 1 m 28 cm. 2) 1 m 44 cm | 1) 77 cm. 2) 82 cm |

Dokutschaeff gibt als Mittelzahl für die Mächtigkeit der russischen Schwarzerde 2' 2" an. — Die Mächtigkeit der Schicht der Felder von Samtschiki (Terrasse A) muß daher als eine bedeutende bezeichnet werden.

Kostytscheff meint, es könne die Abschwemmung der von dichtem Grase bedeckten und durch zahlreiche Wurzeln fest zusammengehaltenen Schwarzerde nur in so geringem Grade vor sich gehen, daß sie keine merkliche Veränderung der Mächtigkeit hervorruft.[2]) — Gewiß wird das Gras und seine Wurzeln die Abschwemmung der oberen Schicht einigermaßen verhindern, jedoch kann kein Zweifel darüber bestehen, daß lockere, besonders gepflügte Felder vom Wasser — hauptsächlich Schmelzwasser — in diesem Sinne beeinflußt werden können.

Über Schwarzerdeböden, welche in der Nähe von Flüssen gelegen sind, sagt Dokutschaeff folgendes: „Die Mächtigkeit des auf den Terrassen gelagerten Bodens ist durchaus nicht konstant; soweit die Tatsachen reichen, können alle hierher gehörenden Fälle in zwei Reihen geteilt werden: an einigen Flußufern ist eine allmähliche Steigerung zum Flußtale zu bemerken; andere Flußufer zeigen das entgegengesetzte Bild."[3])

[1]) Dokutschaeff, a. a. O. S. 195. 200. Lewakowsky, Materialien zur Erforschung des Tschernosëms 1871 (russisch).

[2]) Kostytscheff, a. a. O. 1886, S. 213—214.

[3]) Dokutschaeff, a. a. O. S. 339.

Was die Felder von Samtschiki betrifft, so möchte ich dem Neigungswinkel der Oberfläche beider Terrassen eine entschiedene Bedeutung zuschreiben. — Da die erste Terrasse B steiler ist, als die zweite A, so muß hier eine Stauung des von oben abfließenden Wassers stattfinden; auf der Terrasse A ist deshalb eine Humusansammlung zu erwarten.

Wir sehen also, daß ein sandig-lehmiger Unterboden einer- und das Relief des Flußtals andrerseits die Bildung einer mächtigen Schwarzerdeschicht in Samtschiki begünstigten.

3. Der Humusgehalt. Der Humusgehalt des Tschernosëm weist noch größere Schwankungen auf, als die Mächtigkeit der Humusschicht. Nicht nur in verschiedenen Gegenden, sondern auch an benachbart gelegenen Stellen treten große Unterschiede im Prozentgehalte des Bodens an Humus auf, wie folgende Zahlen zeigen:[1])

Die Proben wurden einem nie bebauten, von Stipa pennata bewachsenen Steppenboden des Gouvernements Ufa entnommen.

| | Humus |
|---|---|
| 1. Süd-West-Abhang am Fluß Djessna; obere Partie . . . . | 12,565 % |
| 2. Weiter unten an demselben Abhange; steilere Partie / Vegetation wie oben . . . . . | 10,646 % |
| 3. Untere weniger steile Partie; Wiesen-Vegetation . . . . | 8,731 % |
| 4. Andere Seite der Djessna; flache Wiese mit Wiesenpflanzen | 9,607 % |
| 5. Anhöhe mit sanft abfallenden Seiten. Stipa . . . . . | 9,570 % |
| 6. Westlicher, sehr abschüssiger Abhang von der Anhöhe 5 . | 7,103 % |
| 7. Anhöhe mit leichter Neigung; Stelle neben einem schon auf der Schwarzerde aufgewachsenen Walde . . . . | 13,156 % |
| 8. Oberer Teil des südlichen sehr steilen Abhanges des 2. Berges | 5,259 % |
| 9. In der Mitte desselben Abhanges . . . . . | 5,347 %." |

Ich entnahm einer bestimmten Feldfläche drei Bodenproben im Bereich von weniger als 2 ha und erhielt folgende Resultate:[2])

1. Probe: höheres flaches Plateau . . . . . 4,8 % Humus.
2. Probe: näher dem Flusse . . . . . 6,0 „ „
3. Probe: niedrige Stelle am Bache und an der Wiese 8,0 „ „

Diese Schwankungen im Humusgehalte erscheinen auf den ersten Blick sonderbar und unerklärlich. Doch sind sie nur eine Folge der drei Faktoren, welche die Bildung des Tschernosëm bedingt haben: des Bodens, des Klimas und der Vegetation, soweit diese Faktoren auf einer kleinen Fläche sich ändern können.

[1]) Kostytscheff, a. a. O. 1886, S. 198.

[2]) Der Humusgehalt wurde durch Behandlung des Bodens mit Schwefelsäure und Kalichromat und aus der dabei entstandenen, im Geisslerschen Kaliapparate absorbierten Kohlensäure bestimmt.

Der Zusammenhang zwischen der Art des Untergrundes und dem Humusgehalte ist am besten aus dem Vergleiche des Humusgehaltes von Schwarzerde zu ersehen, die auf Lehm- und auf Sand-Untergrund gelagert ist.

Der Lehmboden ist einerseits infolge seines Nährstoffgehaltes dem Wachstum des Grases förderlich, andrerseits ist jedoch durch seine größere Undurchlässigkeit für Luft und Wasser die Wurzelentwicklung auf eine geringere Tiefe beschränkt. Der Sandboden verhält sich in dieser Hinsicht umgekehrt, doch kann er keine sehr üppige Vegetation hervorbringen. Folgendes einem großen Beobachtungsmaterial entnommene Beispiel soll dies näher erklären:

| | Humus | auf Boden mit | |
|---|---|---|---|
| | | Ton | Sand |
| | % | % | % |
| 1. | 5,149 | 7,3 | 65,3 |
| 2. | 7,309 | 20,1 | 44,2 |
| 3. | 9,280 | 24,1 | 38,2 |

Aus diesem Beispiel ist zu ersehen, daß der Humusgehalt der Schwarzerde im geraden Verhältnis zum Ton- und im umgekehrten Verhältnisse zum Sandgehalte steht.

Ein anderer den Humusgehalt bestimmender Umstand ist der Grad der Feinkörnigkeit des Untergrundes. Dieser Einfluß ist sehr groß und an vielen Schwarzerdesorten zu erkennen, deren Humusgehalt sogar 10% übersteigt.[1])

| Boden | Humus | Feinste Teile, $<0{,}01$ mm. |
|---|---|---|
| | % | % |
| 1. | 11,89 | 48,78 |
| 2. | 14,386 | 61,21 |
| 3. | 19,784 | 64,26 |

Der Zusammenhang zwischen Humusgehalt und Gehalt des Bodens an feinsten Teilen erklärt sich daraus, daß diese den Boden fest machen und das Eindringen der Luft in die Tiefe verhindern. Die Folge davon ist eine Verwesung der Wurzeln, wodurch, wie oben erwähnt, der Humusgehalt erhöht werden muß.

4. Einfluß des Reliefs auf den Humusgehalt des Tschernosëm. Auf den ersten Blick wird es sonderbar erscheinen, wenn man die Behauptung aufstellt, daß auf einer kleinen Feldfläche verschiedene klimatische Bedingungen existieren, welche den Humusgehalt beeinflussen können. Das Klima ist natürlich für die betreffende Gegend, was Regenmenge und Wärme betrifft, gleich. Doch kann von dem Bodenrelief auch innerhalb einer kleinen

[1]) Nach Beobachtungen von Sawjaloff: Zur Charakteristik des Bodens und der Pflanzenwelt des zentralen Teils des Gouvernements Ufa. Potschwowedenje (Bodenkunde) 1902, Bd. 4, S. 448—456 (russisch).

Fläche der Wassergehalt des Bodens und die Quantität der auf ihn fallenden Sonnenstrahlen abhängig sein; demgemäß wird auch die Vegetation Verschiedenheiten aufweisen. An den besser beleuchteten und bewässerten Stellen wird sich eine üppigere Vegetation entwickeln, welche ein reicheres Material für die Humusbildung liefert. Folgende interessante Angaben über die Abhängigkeit des Humusgehaltes vom Bodenrelief sind dem Werke Kostytscheffs entnommen:[1])

| Auf hohen Hügeln und Flächen % | In engen, niederen Tälern % |
|---|---|
| 8,524 | 4,238 |
| 6,000 | 6,790 |
| 5,861 | 6,300 |
| 6,418 | Mittel: 5,686 % |
| 7,849 | Differenz zwischen Maximum und Minimum 2,552 % |
| 6,248 | |
| 7,847 | |
| 7,301 | |
| 6,403 | |
| Mittel: 6,939 % | |
| Differenz zwischen Maximum und Minimum 2,663 % | |

| An südlichen Abhängen % | An östlichen, westlichen und nördlichen Abhängen % |
|---|---|
| 3,449 | 7,932 |
| 4,251 | 8,388 |
| 2,603 | 8,173 |
| 5,650 | 6,652 |
| 5,705 | 7,613 |
| | 8,267 |
| Mittel: 4,332 % | Mittel: 7,838 % |
| Differenz: 3,102 % | Differenz: 1,736 % |

„Aus diesen Tabellen" — schreibt Kostytscheff — „erkennt man, daß den größten Humusgehalt die nördlichen, östlichen und westlichen Abhänge aufweisen; ihnen folgen hohe Flächen; viel geringer ist der Humusgehalt in niedrig gelegenen Tälern und am geringsten auf südlichen Abhängen. Weitere Untersuchungen werden zeigen, welche Gegenden dieselbe

[1]) Kostytscheff, a. a. O. S. 192. 193.

Humusverteilung aufweisen."[1]) Dieser Schluß kann zweifellos nicht auf alle Gegenden der großen Schwarzerderegion Anwendung finden; während in der einen Gegend die klimatischen Bedingungen an den nördlichen und östlichen Abhängen eine üppige Vegetation hervorrufen, erzielen sie in einem anderen Gebiete dasselbe an den südlichen und westlichen Abhängen. Wenigstens haben Untersuchungen, die in verschiedenen Gegenden gemacht sind, abweichende Resultate ergeben; unanfechtbar bleibt nur die Beziehung zwischen dem Bodenrelief und dem Humusgehalte. Für jede einzelne Gegend wird diese aber je nach den klimatischen Verhältnissen und Eigenschaften des Bodens verschieden sein.

Analysen der Schwarzerde aus allen Gegenden haben ein reiches Zahlenmaterial geliefert, welches beweist, daß in den östlich gelegenen Teilen der Schwarzerderegion der Humusgehalt am größten, in den südwestlichen am geringsten ist. Diese Tatsache läßt sich aus den drei oben besprochenen, auf die Entstehung der Schwarzerde einwirkenden Faktoren ableiten.

Die allgemeinen Bedingungen der Bodenbeschaffenheit und des Klimas der östlichen Region sind einer reichhaltigen Humusbildung viel günstiger, als diejenigen der südwestlichen Region. Im Osten ist die Schwarzerde vorherrschend auf lehmigem Untergrunde gelagert und das Klima während der Vegetationsperiode durch große Trockenheit ausgezeichnet, im Südwesten dagegen enthält der Unterboden mehr Sand und weniger Lehm, zugleich ist das Klima während dieser Zeit viel feuchter (hier im Südwesten ist auch das Rittergut Samtschiki gelegen). Daher sind Maximalwerte wie 19% Humusgehalt[2]) bis jetzt nur für die östliche Region gefunden, wo es Gegenden mit 13,36% — 19,17%[2]) Humusgehalt gibt. Für den westlichen Teil kann als Maximalwert nur 12,24%[3]) angenommen werden. Ein hervorragender Kenner der russischen Schwarzerde, Sibirzeff, hat folgende Einteilung der Schwarzerde vorgeschlagen:[4])

| Dunkelchokoladefarbige Schwarzerde | Gewöhnliche Schwarzerde | Fette Schwarzerde | Braungelbe Schwarzerde des mittleren Rußlands |
|---|---|---|---|
| 4% — 6% Humus | 6% — 10% | > 10% | 6% — 4% |

Sandige, auf sandig-lößartigem Untergrunde gelagerte Schwarzerde rechnet Sibirzeff zur Kategorie der „gewöhnlichen Schwarzerde".

Der Humusgehalt der Felder von Samtschiki beträgt 4,8%, 6%, 8%.[5]) Die Schwarzerde von Samtschiki muß sowohl nach den Eigenschaften des

[1]) Kostytscheff, a. a. O. S. 193.

[2]) Sawjaloff, Zur Charakteristik des Bodens und der Pflanzenwelt des zentralen Teils des Gouvernements Ufa. Potschwowedenje 1902, Bd. 4, S. 452.

[3]) Dokutschaeff, Der russische Tschernosëm S. 146.

[4]) Potschwowedenje (Bodenkunde) 1902, Bd. III, S. 86.

[5]) Die Probe mit 8% Humus wurde einer niedrigen Stelle an einem abschüssigen Abhange bei einem Bache entnommen. Diese Stelle ist für unsere Felder nicht typisch.

Untergrundes, als auch nach ihrem Humusgehalte zum Typus „gewöhnliche Schwarzerde“ gerechnet werden; ihr Humusgehalt nähert sich dem für gewöhnliche sandhaltige Schwarzerde festgestellten Minimum.

Es muß erwähnt werden, daß die Schwarzerde der Umgebung überhaupt keinen großen Humusgehalt zu verzeichnen hat. Der Humusgehalt — nach Beobachtungen von Kopist — schwankt in diesen Gegenden zwischen 4%—7%,[1]) so daß die Schwarzerde von Samtschiki für die betreffende Region als reichlich bezeichnet werden muß.

Zweifellos kommt in dieser Beziehung die Lage der Felder wesentlich mit in Betracht. Wenn die obere Schicht der Felder der höhergelegenen Terrasse auf ein wenig abschüssiges und breites Tal aufgeschwemmt wird, so könnte man schon a priori eine Humusansammlung erwarten. Als Beleg hierfür mag eine Beobachtung über eine ähnliche Humusanhäufung am Abhange eines kleinen Bachtales, welches auf einer Wiese zwischen den Feldern desselben Gutes gelegen ist, Erwähnung finden. Hier begegnen wir im Kleinen den gleichen Reliefbedingungen, wie wir sie in großem Maßstabe im Slutsch-Tale wiederfinden. Ich ermittelte den Humusgehalt und fand denselben sowohl für die südwestliche Region als auch speziell für unsere Felder ungewöhnlich hoch (nämlich 8%).

Daß der Humus hier aufgeschwemmt wurde, läßt sich sowohl durch die mechanische Analyse, als auch durch die mikroskopische Untersuchung der abschlämmbaren Teilchen beweisen.

Auf Samtschiki finden wir bei gleichem Unterboden in Bodenproben, die in nur geringer Entfernung voneinander entnommen wurden, folgendes Ergebnis:

| Feld | Humus | Abschlämmbare Teile | Mikroskopische Untersuchung |
|---|---|---|---|
| höher gelegen | 4,8% | 52,8815 | Vorwiegend Quarzteilchen |
| am Bachtale . | 8% | 63,1560 | Vorwiegend schwarze Humusteilchen |

[1]) Kopist, Resultate der Bodenanalysen in Wolinien, Ukrajna und Podolien, Schriften der Kiewsch. Technisch. Gesellsch. 1874, Bd. IV (russisch).

## III. Die mechanische Zusammensetzung der Schwarzerde Samtschiki.

Ein Boden kann noch so viele Nährstoffe enthalten, er wird dennoch unfruchtbar sein, wenn seine physikalischen Eigenschaften den Anforderungen der Pflanze nicht entsprechen. Diese Eigenschaften hängen hauptsächlich von der Struktur und Größe der verschiedenen mechanischen Bestandteile des Bodens, von ihrer relativen Menge und ihrer Verteilung ab. Wir hatten schon früher erwähnt, welch' wichtige Bedeutung die mechanische Zusammensetzung der Schwarzerde, ihre Feinkörnigkeit für die Trockenheit und Festigkeit des Bodens und dadurch auch für den chemischen Verwesungsprozeß der Steppenvegetation sowie den Humusgehalt hat. Weiterhin hängt von der Beziehung des Bodens zu Wasser, Luft und Temperatur, die durch seine Struktur bedingt ist, die Intensität der darin verlaufenden chemischen Prozesse und seine Bakterientätigkeit ab. Nur dann, wenn diese Verhältnisse für die Kulturpflanze günstig sind, kann der Reichtum des Bodens sich in seiner Fruchtbarkeit äußern. Die Tabelle zeigt die Resultate der von mir ausgeführten mechanischen Analysen der typischen Bodenarten und des Bodens der Felder von Samtschiki. Es enthalten in Prozenten:

Tabelle I.[1])

| Art des Bodens | Steine | Grobkies | Feinkies | Perlsand | Grobsand | Feinsand | Nicht abschlämmbare Teile | Abschlämmbare Teile | Verlust beim Sieben |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | mm | mm | mm | mm | mm | mm | — | — | — |
| | > 5 | 5—3 | 3—2 | 2—1 | 1—0,5 | < 0,5 | | | |
| Sand . . . . . | 2,386 | 1,914 | 1,827 | 4,782 | 18,222 | 57,131 | 86,276 | 13,724 | 0,014 |
| Lehm . . . . . | 3,773 | 0,150 | 0,353 | 1,108 | 5,550 | 51,400 | 62,355 | 37,645 | 0,021 |
| Ton . . . . . | 0,177 | 0,773 | 0,740 | 1,975 | 6,230 | 29,705 | 39,620 | 60,380 | 0,020 |
| Löß . . . . . | — | 0,499 | — | 0,997 | 2,289 | 45,032 | 48,818 | 51,182 | 0,001 |
| Tschernosëm der Felder von Samtschiki. | | | | | | | | | |
| Ebenes Versuchsfeld . . | — | Wurzelreste | | 0,200 | 1,354 | 2,526 | 43,663 | 47,744 | 52,256 | 0,001 |
| Weit vom Flusse . . . | — | | | 0,047 | 1,012 | 4,788 | 40,436 | 46,493 | 53,507 | 0,010 |
| Feld näher dem Flusse, Neigung . . . . . | — | | | 0,110 | 0,447 | 1,678 | 34,622 | 36,869 | 63,131 | 0,012 |
| Am Bache . . . . . | — | | | 0,315 | 0,389 | 2,475 | 33,632 | 36,819 | 63,181 | 0,008 |

Die mikroskopische Untersuchung der abschlämmbaren Teile ergab die Anwesenheit von Quarz und Glimmer, vermischt mit Humuspartikelchen.

[1]) Die Probeentnahme der Böden erfolgte an 3 verschiedenen Stellen eines jeden Feldes bis zur Tiefe von 30 cm. Die Schlämmanalyse wurde nach Kühn ausgeführt.

Aus vorstehenden Tabellen ergibt sich eine Ähnlichkeit in der Zusammensetzung der Schwarzerde und des Lößbodens; in beiden ist das Verhältnis der abschlämmbaren Teile zum Rückstande ein sehr günstiges; unter den nicht abschlämmbaren Teilen nimmt der Feinsand (< 0,5 mm) der Menge nach den ersten Platz ein, gröbste Teile fehlen gänzlich.

Feinsand und abschlämmbare Teile mit vorwiegendem Quarzgehalte tragen zu einer körnigen Struktur der Ackerkrume bei. Quarz erhöht die Porosität des Bodens und erleichtert das Eindringen von Luft und Wasser, das bei sandigem Untergrunde auf eine beträchtliche Tiefe eindringen kann und nicht in den oberen Schichten zurückgehalten wird, wie dies bei einem lehmigen Untergrunde der Fall ist. Andrerseits erzeugen der in den nicht abschlämmbaren Teilen der Menge nach vorwiegende Feinsand und der hohe Gehalt an abschlämmbaren Teilen sowie an Humus im Boden von Samtschiki (wie überhaupt in jeder Schwarzerde) einen bedeutenden Grad der Hygroskopizität, der Wasserkapazität und der Kapillarität, wie dies folgende Zahlen veranschaulichen.[1])

| Feld | Hygroskop. Wasser | Wasser-kapazität | Kapillarität, 30 cm Höhe in Stunden |
|---|---|---|---|
| I. Versuchsfeld . . . . | 2,96 % | 33 % | 11 Std. 30 Min. |
| II. Feld am Bache . . . | 4,41 „ | 37 „ | 17 „ 15 „ |

Diese die Erhaltung eines entsprechenden Wasservorrates auch bei ungenügenden Niederschlägen sichernden Eigenschaften des Bodens sind für die Vegetation äußerst wertvoll. Besonders wichtig ist die Kapillarität, welche beim Eintritt von Dürre den Pflanzen einen Teil des aufsteigenden Grundwassers zu gute kommen läßt.

Das Verhalten jeder Schwarzerde gegenüber der Erwärmung durch die Sonnenstrahlen ist hauptsächlich durch ihre schwarze Farbe bedingt. Der Humus ist — wie bekannt — ein schlechter Wärmeleiter; darum geht die Erwärmung der Schwarzerde nur allmählich vor sich und ebenso wird die aufgespeicherte Wärme auch nur langsam wieder abgegeben. Deshalb sind auch plötzliche, für die Pflanzen schädliche Temperaturwechsel bei Schwarzerde mit großem Humusgehalte ausgeschlossen. Im selben Sinne günstig wirkt auch der Umstand, daß unter allen Bestandteilen der Ackererde der Humus die größte spezifische Wärme besitzt.

Das gegenseitige Verhältnis der groben und der feinen Bestandteile des Bodens bedingt die Nutzbarmachung der im Boden enthaltenen Nährstoffe für die Pflanzen. — Dr. Rudzinski wies nach, daß, je feiner die mechanischen Teile sind, desto reicher ist ihr Gehalt an Kali, Phosphorsäure und

[1]) Eine nähere Beschreibung der Methode zur Auffindung dieser Werte findet sich am Schlusse dieser Schrift.

Stickstoff.[1]) Andrerseits ist die Lösungsfähigkeit der schwer löslichen chemischen Verbindungen von der Oberflächengröße der festen Bodenteilchen abhängig. Deshalb müssen wir erwarten, daß ein Boden, welcher mehr Feinerde enthält, auch mehr Nährstoffe an das Bodenwasser abgeben wird. Gasparin und auch Risler et Colomb-Pradel stellen den Nährstoffgehalt und die Fruchtbarkeit des Bodens in direkten Zusammenhang mit der Menge der Feinerde.[2]) Nicht geringer ist auch die Bedeutung der Feinerde für die auflösende Tätigkeit der Wurzeln. Die Wurzeln schmiegen sich den feinen Erdpartikelchen enger an; die sauren Wurzelausscheidungen können auf eine viel größere Oberfläche einwirken; auch das Wurzelsystem selbst entwickelt sich verschieden auf Böden von verschiedener mechanischer Zerkleinerung. Nowacki bringt die Entwicklung der Pflanzenwurzeln in enge Beziehung mit dem Gehalte des Bodens an abschlämmbaren Teilen.[3])

Die mechanische Zusammensetzung sowie die physikalischen Eigenschaften des Bodens von Samtschiki sind für die Entwicklung der Pflanze günstig zu nennen.

Wie steht es nun aber mit dem Gehalt des Bodens an den einzelnen Nährstoffen? Auf diese Frage soll die chemische Analyse Antwort geben.

---

## IV. Bestimmung des Düngerbedürfnisses.

### A. Die chemische Bodenanalyse.

Für die Bestimmung des Gehaltes des Bodens an nutzbaren Mineralbestandteilen habe ich einen Bodenauszug mit 10 prozent. Salzsäure gewählt.[4]) Ich hatte die Absicht, praktische Schlüsse aus der Bodenuntersuchung meiner Felder zu ziehen und deshalb schien es mir nicht angebracht zu sein, durch Verwendung stärkerer Säuren auch denjenigen Vorrat an Nährstoffen zu bestimmen, welcher den Pflanzen erst in ferner Zukunft zu gute kommen dürfte. Es unterliegt keinem Zweifel, daß für praktische Zwecke der absolute Gehalt eines Bodens an mineralischen Bestandteilen keinen so großen Wert hat, wie der Mineralgehalt, dessen Nutzbarmachung in der Gegenwart oder nächsten Zukunft zu erwarten ist. Die Menge der in 10 prozent. Salzsäure gelösten Mineralsubstanzen übertrifft schon meistens die von den Pflanzen

[1]) Rudzinski, Einige Versuche zur Bestimmung des Pflanzennahrungswertes der mechanischen Bodenkonstituenten (russisch), Moskau 1903, S. 63.

[2]) Risler et Colomb-Pradel, Dans quelles limites l'analyse chimique des terres peut-elle servir à déterminer les engrais dont-elles ont besoin? 1877, deutsch, S. 8—9.

[3]) Nowacki, Die mechanische Analyse des Bodens. Schweizer Landw. Zeitschrift 1873, S. 12.

[4]) Nähere Beschreibung siehe S. 62.

in absehbarer Zeit aufnehmbare Quantität um das Vielfache; um so größer wird der Unterschied dann sein, wenn eine stärkere Säure verwendet wird.

Die folgende Tabelle enthält die Ergebnisse der chemischen Bodenanalyse von verschiedenen Schwarzerdeböden bezüglich der Hauptnährstoffe der Pflanze und ermöglicht einen Vergleich des Bodens von Samtschiki mit einem reichen Tschernosëm aus dem Gouvernement Samara.

Tabelle II.

| | Glühverlust % | Stickstoff % | Phosphorsäure[1] % | Kali % | Kalk % |
|---|---|---|---|---|---|
| Versuchsfeld in Samtschiki . . . . | 6 | 0,23 | 0,032 | 0,20 | 0,57 |
| Boden aus Samara 1[2] . . . . . | 13,74 | 0,29 | 0,19 | 0,360 | 0,86 |
| Boden aus Samara 2[2] . . . . . | 12,77 | — | 0,134 | 0,264 | 0,76 |

Nach obiger Tabelle kann der Gehalt verschiedener Schwarzerden an Nährstoffen sehr wechselnd sein. Der Boden von Samtschiki ist an den für die Pflanze wichtigen Mineralstoffen (der Stickstoff macht eine Ausnahme) gegenüber Böden gleicher Art verhältnismäßig arm. Besonders auffallend ist die Armut an Phosphorsäure.

Worin ist nun die Ursache dieses Mangels zu suchen? — Kehren wir wieder zum Relief der betreffenden Gegend zurück. So günstig auch das Flußtalrelief infolge Anschwemmung von Humusteilchen auf die Anreicherung des Bodens an organischen Stoffen wirkt, so schädlich beeinflußt es seinen Gehalt an mineralischen Bestandteilen. Das fortwährend in derselben Richtung (zum Flusse), wenn auch langsam abfließende Wasser führt wichtige lösliche Mineralstoffe mit sich fort. Infolge der Beschaffenheit des Reliefs wird eine Auslaugung der auf der tiefer gelegenen Terrasse befindlichen Felder bewirkt. Dieser Vorgang ist zweifellos die Hauptursache für den Verlust an den im Boden vom Samtschiki ursprünglich vorhandenen Mineralstoffen. Begünstigt wird dieser Prozeß noch durch die oben erläuterten physikalischen Eigenschaften des Bodens, welche die Umwandlung schwerlöslicher Stoffe in leichtlösliche erleichtern. — Auf eine derartige Beeinflussung des Bodens durch das Flußtalrelief ist zu wiederholten Malen hingewiesen worden. Bessonoff und Nestrujeff äußern sich über Schwarzerde, die in breiten Flußtälern gelagert ist, folgendermaßen: „Die Analyse der wässerigen Auszüge zeigt, daß die zum Tal gehörenden Schwarzerdepartien viel weniger in Wasser lösliche Salze enthalten als andere Bodenarten.[2])

[1]) Die Werte für die Mineralstoffe sind ebenfalls nach Behandlung des Bodens mit 10prozent. Salzsäure erhalten.

[2]) Bessonoff und Neustrujeff, Beschreibung des Nowousensky-Kreis des Gouvern. Samara. Potschwowedenje (Bodenkunde) Bd. 3, 1902, S. 328.

In demselben Sinne äußert sich auch Dokutschaeff. Eine andere Ursache, welche mit zur Armut unserer Schwarzerde an Nährstoffen beiträgt, ist die Ausnutzung des Bodens durch extensive Kultur bei ungenügender Düngung.

Die chemische Analyse mittels 10% Salzsäure kann zwar einen größeren oder geringeren Reichtum an Mineralstoffen im Boden ermitteln; sie kann aber noch nicht darüber aufklären, welche Mengen dieser Stoffe für die Pflanze in nutzbarer Form vorhanden sind. Deshalb kann die chemische Analyse an und für sich nur in beschränktem Maße Anhaltspunkte für die Beurteilung der Fruchtbarkeit des betreffenden Bodens liefern, da sie nicht erkennen läßt, ob und in welcher Menge die gefundenen Nährstoffe in assimilierbarer Form vorhanden sind. Die chemische Analyse allein ist folglich nicht ausreichend, wenn es sich darum handelt, den Mangel eines Bodens an bestimmten Nährstoffen und die Notwendigkeit einer bestimmten Düngung festzustellen. Jedoch sind im Laufe der Zeit viele Analysen verschiedener Böden ausgeführt und mit der Fruchtbarkeit dieser Böden verglichen worden. Man hat dabei gefunden, daß zwischen der Gesamtmenge der Mineralstoffe und der Fruchtbarkeit (soweit diese von der chemischen Zusammensetzung des Bodens abhängt) gewisse Beziehungen bestehen.

Thoms, welchem wir die Ausarbeitung der Methode zur Wertschätzung der Ackererde auf naturwissenschaftlich-statistischem Wege verdanken, teilt die Bodenarten nach ihrer Fruchtbarkeit in beste, mittlere und schlechte, die nach seinen Untersuchungen (Boden-Auszug mittels 10prozent. Salzsäure) entsprechende Mengen mineralischer Nährstoffe enthalten. Thoms glaubt auf diese Weise „das endgültige Ziel der praktischen Bodenkunde zu erreichen, nämlich eine Bonitierung auf wissenschaftlicher Grundlage und zugleich eine Vorstellung von der für die betreffende Bodenart notwendigen Düngung zu bekommen, wenn auch für ein eng begrenztes Gebiet.“ [1])

Diese Methode mag wohl zur Bestimmung des Gehaltes eines Bodens an mineralischen Nährstoffen brauchbar sein, gestattet aber nicht festzustellen, ob ein Boden der Düngung bedarf oder nicht, viel weniger noch an der Hand der Analysen-Ergebnisse die geeignete Menge eines bestimmten Düngemittels festzustellen. „Man darf ruhig behaupten“ — so schreibt Kellner — „daß, wenn ein Boden viel Stickstoff enthält, oder viel Phosphorsäure oder Kali an die starken Säuren abgibt, daraus noch lange nicht zu folgern ist, daß der betreffende Boden einer Düngung mit diesen Stoffen nicht bedürfe. Im umgekehrten Falle dagegen, wenn der Gehalt an Nährstoffen unter ein gewisses Minimum sinkt, läßt sich wohl sagen,

[1]) Thoms, Analyse des Bodens in der Anwendung auf seine Wertschätzung (russisch). Encyklopädie der Landwirtschaft Bd. I, S. 162.

daß hier das Bedürfnis einer Düngung mit bestimmten Nährstoffen vorhanden ist.“[1])

Nicht uninteressant ist es, diese Minima an Nährbestandteilen des Bodens kennen zu lernen. Von den verschiedensten Forschern ist an der Ermittlung derselben gearbeitet worden, deren Ergebnisse ich in folgendem tabellarisch zusammengestellt habe.

Ein Boden, welcher weniger als den angegebenen Grenzwert enthält, bedarf nach Ansicht jedes genannten Autors der Zufuhr des fraglichen Nährstoffes, also der Düngung.

Tabelle III.

| Forscher | % N | % $P_2O_5$ | % K |
|---|---|---|---|
| Joulie[2]) . . . . . | — | 0,01 | 0,25 |
| Risler et Colomb-Pradel[3]) . . . | 0,01 | 0,01 | 0,01 |
| Gasparin[4]) . . . . . | — | 0,05 | — |
| Thoms[5]) . . . . . | — | 0,01 | 0,03 |
| Kellner[6]) . . . . . | 0,1 | 0,1 | 0,15 |
| Köhler[7]) . . . . . | — | 0,6 | — |
| Hanamann[8]) . . . . . | — | 0,05—0.01 | — |
| Heinrich[9]) . . . . . | 0,1 | 0,05 | 0,05 |
| Liebscher[10]) . . . . . | 0,07 | — | 0,05 |
| Maercker[11]) . . . . . | — | 0,1 | — |

Eine Einheitlichkeit der Werte wird man in vorstehender Tabelle vermissen; das ist auch ganz verständlich. Wenn auch die Analysen für eine

[1]) Kellner, Über die Methoden zur Ermittlung des Düngerbedürfnisses der Ackererden, 1898, S. 7

[2]) Risler et Colomb-Pradel, Inwieweit vermag die chemische Bodenanalyse zur Bestimmung des Düngerbedürfnisses des Bodens beizutragen? 1888, S. 28.

[3]) Ibid. S. 28.

[4]) Ibid. S. 27.

[5]) Thoms, Über die Boden- und Pflanzenanalyse in ihrer Bedeutung für die Wertschätzung der Ackererde. Baltische Wochenschrift f. Landw. 1893, S. 345. (Extrahieren des Feinbodens mit 10prozent. Salzsäure.)

[6]) Kellner, Über die Methoden zur Ermittlung des Düngerbedürfnisses der Ackererden, 1898, S. 7. (Auswaschen des Kalis mit 5prozent. Salmiaklösung.)

[7]) Jahresber. für Agrik.-Chemie, N. F. 15, 1892, S. 91.

[8]) Hanamann, Über die chemische Zusammensetzung verschiedener Ackererden und Gesteine Böhmens, Prag 1890. (Durch Behandeln des Bodens mit viel Ammoniak und darauf mit verdünnter Salzsäure, Trennung in Ton, Grand und Feinerde; in dieser werden die Mineralstoffe bestimmt.)

[9]) Heinrich, Jahresber. für Agrik-Chemie, N. F., 1891, S. 156. (Extrahieren des Bodens durch 3stündiges Kochen mit 10 prozent. Salzsäure.)

[10]) Journ. f. Landw. Bd. 43, 1895, S. 156.

[11]) Zeitschr. des Landw. Centralvereins der Provinz Sachsen 1891, No. 4.

bestimmte Gegend eine gewisse Ähnlichkeit zeigen können, so darf man die erwähnten Grenzwerte auf keinen Fall als Norm für alle Gegenden annehmen, welche in Bezug auf Boden, Relief und Klima Verschiedenheiten aufweisen. Jedoch kann bei der Ähnlichkeit der Ackererden einer bestimmten Gegend die Bestimmung des Grenzwertes für die Nährstoffe (wie es Thoms für die Böden der Ostsee-Provinzen bewiesen hat) zur Lösung der Frage beitragen, ob der Boden einer Düngung mit diesem oder jenem Stoffe bedarf.

Um das Düngerbedürfnis der Felder von Samtschiki auf diesem naturwissenschaftlich-statistischen Wege zu ermitteln, müßte man, nach dem Beispiel von Thoms, über ein sehr umfassendes Beobachtungsmaterial verfügen. Für unsere Gegend ist das leider nicht der Fall.

Es liegt nur eine geringe Zahl von chemischen Untersuchungen russischer Böden vor, deren Ergebnis mit ihrer Fruchtbarkeit in Beziehung gesetzt ist.

So gibt Kopist folgende Tabelle für die Gegend Süd-West-Rußlands an.

Tabelle IV.[1])

In 100 Teilen des Bodens.

| Gouvernement | Wolinien | | | Kiew | | Podolien | | Felder von Samtschiki |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | |
| Relative Größe der Mittelernte an Zuckerrüben | 93 | 43 | 100 | 100 | 60 | 86 | 43 | — |
| Humus | 5,923 | 3,697 | 6,981 | 6,762 | 4,740 | 5,304 | 4,730 | 4,80 |
| N | 0,196 | 0,112 | 0,245 | 0,224 | 0,119 | 0,147 | 0,126 | 0,23 |
| $P_2O_5$ | 0,041 | 0,020 | 0,068 | 0,077 | 0,058 | 0,059 | 0,042 | 0,032 |
| $K_2O$ | 0,276 | 0,260 | 0,317 | 0,309 | 0,276 | 0,392 | 0,397 | 0,20 |
| CaO | 0,546 | 0,280 | 0,759 | 0,614 | 0,492 | 0,529 | 1,094 | 0,57 |

Der niedrige Gehalt des Bodens an Phosphorsäure weist zweifellos auf ein Bedürfnis des Bodens für Phosphorsäuredüngung hin.

Was den Stickstoffgehalt des Bodens von Samtschiki anbetrifft, so ist seine Menge als genügend zu bezeichnen.

Bezüglich des Kalis bleibt die Frage offen, da ein Gehalt von 0,26 % bis 0,397 % Kali als hoch angesehen werden kann, während ein Gehalt von 0,20 % noch nicht die Notwendigkeit einer Kalizuführung voraussetzt.

Zur Entscheidung der Frage, ob eine Mineraldüngung von Einfluß auf die Erträge in Samtschiki sein kann, gibt die chemische Analyse folgende Anhaltspunkte:

1. Der Vorrat an den für das Gedeihen der Pflanze notwendigen mineralischen Nährstoffen ist auf den Feldern von Samtschiki nicht groß; deshalb ist es angebracht, Maßregeln gegen die Aufzehrung dieses Vorrats zu treffen.

[1]) Kopist, Resultate der Bodenanalysen in Wolinien, Ukrajna (Kiew) und Podolien. Schriften der Kiew. Technisch. Gesellsch. 1874, Bd. IV, S. 331 (russisch).

2. Der Ertrag der Felder von Samtschiki kann höchst wahrscheinlich durch Düngung mit Phosphorsäure, welche im Verhältnis zu den anderen Nährstoffen in minimaler Menge vorhanden ist, erhöht werden.

## B. Bestimmung der aufnehmbaren Phosphorsäure.

Die oben angeführten Resultate der chemischen Bodenanalyse und die daraus über den wahrscheinlichen Mangel des Bodens an Phosphorsäure gezogenen Folgerungen haben mich veranlaßt, die Untersuchung über das Düngerbedürfnis unseres Bodens in einer bestimmten Richtung fortzusetzen, nämlich die Menge der von Pflanzen aufnehmbaren Phosphorsäure auf chemischem Wege zu bestimmen.

Die Feststellung der Fruchtbarkeit des Bodens auf chemischem Wege hat die Forscher schon längst beschäftigt. Der größte Teil dieser Arbeiten befaßt sich gerade mit der Ermittelung der Phosphorsäure. Es sind hierzu zahlreiche Methoden vorgeschlagen worden. Man probierte verschiedene Säuren in mannigfaltiger Konzentration, deren Extraktionsvermögen dem Aufnahmevermögen der Pflanzen entsprechen sollte: kohlensäurehaltiges Wasser, 1- und 2prozentige Zitronensäure, 1- und 2prozentige Essigsäure und verdünnte Salpetersäure.

Einige Forscher gründeten ihre Methode auf die Beobachtung des Auflösungsvermögens der Pflanzenwurzeln. So bestimmte der englische Chemiker Dyer[1]) den Säuregrad des Wurzelsaftes bei verschiedenen Pflanzen und kam zu der Ansicht, daß eine 1prozentige Zitronensäurelösung gegenüber der Phosphorsäure des Bodens ein ähnliches Auflösungsvermögen besitzt, wie die Wurzeln. Auf Grund von Untersuchungen auf dem Versuchsfelde Rothamsted bei London äußert sich Dyer, daß der Boden der Phosphorsäurezufuhr bedürfe, wenn in eine 1prozentige Zitronensäure nicht mehr als 0,01 % Phosphorsäure übergegangen sei.[2]) Andere begnügten sich mit einer empirischen Methode; aus zahlreichen Beobachtungen und Versuchen zogen sie den Schluß, daß einige Lösungsmittel dem Boden ungefähr dieselbe Menge Phosphorsäure entziehen, wie die Pflanzen. Am verbreitetsten ist die von Maercker vorgeschlagene Methode, welche in 24stündiger Einwirkung von 300 ccm 2prozentiger Zitronensäurelösung auf 60 g Erde besteht. Auf Grund zahlreicher nach dieser Vorschrift ausgeführter Bodenuntersuchungen gelangte Maercker zu dem Ergebnis, daß die durch die 2prozentige Zitronensäurelösung extrahierte Phosphorsäuremenge in einem gewissen Verhältnisse zu der den Pflanzen zu gute kommenden und damit zur Fruchtbarkeit des Bodens steht, und daß ein Boden, welcher an 2 % Zitronensäurelösung weniger als 0,01 % Phosphorsäure abgibt, einer Phosphorsäuredüngung bedarf.

---

[1]) Jour. of the Chemic. Society 1894.

[2]) 2 l auf 200 g Erde 7 Tage lang bei + 15° C. und 400maligem Aufschütteln.

In Rußland hat in den letzten Jahren die Methode von Bogdanoff (Kiew) die Aufmerksamkeit auf sich gelenkt. Bogdanoff nahm Böden mit einem geringen Phosphorsäuregehalte und düngte dieselben mit Stickstoff; auf diese Weise waren die Bedingungen für eine vollständige Aufnahme der vorhandenen Phosphorsäure durch die Pflanzen erfüllt. Weiterhin berechnete er das Verhältnis der in die Ernte übergegangenen Phosphorsäure zu einer bestimmten Menge des Bodens in den Gefäßen und suchte dabei nach einem Lösungsmittel, welches dem Boden ebensoviel Phosphorsäure entzieht wie die Ernte. Ein solches Mittel fand sich in der 2prozentigen Essigsäure.[1])

Auf 1 kg Erde nahm Bogdanoff 4 Liter 2prozentige Essigsäure und ließ das Gemisch 48 Stunden bei häufigem Aufschütteln in der Kälte stehen. Bei seinen Versuchen stellte sich heraus, daß Böden, bei welchen 0,0014 % bis 0,0025 % Phosphorsäure in die 2prozentige Essigsäure übergegangen war, für die Düngung mit Phosphorsäure dankbar waren. Bogdanoff ist der Meinung, daß befriedigende Ernten nur auf Böden mit einem Gehalte von mindestens 0,005 % der so ermittelten Phosphorsäure erzielt werden können.

Zur Bestimmung der Menge der von den Pflanzen assimilierbaren Phosphorsäure im Boden von Samtschiki benutzte ich die Methode von Bogdanoff. Maßgebend war für mich der Umstand, daß Bogdanoff seine Versuche ebenfalls mit Schwarzerde ausgeführt hatte. Die Art des Bodens spielt in diesem Falle eine große Rolle. Aus der einen Bodenart extrahiert das betreffende Lösungsmittel eine Phosphorsäuremenge, die von den Pflanzen aufgenommen werden kann und zum Ertrag in einem bestimmten Verhältnis steht; aus einer andern Bodenart dagegen kann die von demselben Lösungsmittel aufgenommene Phosphorsäuremenge in einem ganz andern und zuweilen sogar in gar keinem Verhältnis zur Fruchtbarkeit des Bodens stehen. Das hängt davon ab, in welcher Verbindung der genannte Nährstoff im Boden vorkommt, worauf Maercker, Hall und Plymen[2]), sowie Gedroiz[3]) aufmerksam gemacht haben.

Zur Bestimmung der den Pflanzen leicht zugänglichen Phosphorsäure im Boden Samtschiki befolgte ich genau die Methode von Bogdanoff und erhielt so

$$0.00073\ \%\ P_2O_5$$

d. h. eine Menge, welche eine Phosphorsäuredüngung für den Boden in Samtschiki notwendig erscheinen läßt.

Zunächst bestätigt dieser Befund die Vermutung, die auf Grund der Ergebnisse der Analyse des mit 10prozentiger Salzsäure erhaltenen Auszuges oben ausgesprochen ist. Obgleich durch die chemische Analyse den

[1]) Bogdanoff, Die Fruchtbarkeit des Bodens im allgemeinen und besonders der russischen Böden (russisch) 1897, S. 68—69.

[2]) Proc. Chem. Soc. 17, S. 239.

[3]) Gedroiz, Journ. für allgemeine Agronomie 1903, S. 431 (russisch).

Mangel an Phosphorsäure im Boden erwiesen hat, so bietet sie trotzdem noch keine Anhaltspunkte zur Feststellung der Menge des notwendigen Düngers.

## C. Der Vegetationsversuch in Gefäßen.

Die Bestimmung der Fruchtbarkeit des Bodens mit Hülfe der Düngungsversuche geht darauf aus, die Eigenschaften des Bodens durch das Verhalten der Pflanze selbst zu prüfen. Liebigs Gesetz vom Minimum lautet: Der Ertrag an Pflanzenmasse ist abhängig von demjenigen Wachstumsfaktor, der den Pflanzen in geringster Menge zur Verfügung steht. Durch dieses Gesetz ist die Möglichkeit gegeben, den Mangel an einem bestimmten Nährstoffe auf Grund der Höhe des Ertrages zu bestimmen; wenn der betreffende Boden eines bestimmten Nährstoffes bedarf, so muß durch Zugabe dieses Nährstoffes der Ertrag erhöht werden. Folglich wird der Vergleich der von demselben Boden mit und ohne Düngung erhaltenen Erträge das Nährstoffbedürfnis klarlegen. Auf dieser Grundlage beruht die Prüfung des Bodens an der Hand von Düngungsversuchen in Gefäßen und auf dem Felde.

Viele Forscher halten die Versuche in Vegetationsgefäßen für zweckmäßiger, da sie alle jene Zufälligkeiten und Schädigungen, welchen die Pflanzen auf freiem Felde ausgesetzt sind, ausschließen und deshalb Anspruch auf größere Genauigkeit und Klarheit machen können. Der Gefäßversuch gibt es dem Forscher in die Hand, alle Bedingungen und Verhältnisse regulieren zu können.[1]) Wir wollen nun sehen, welche Resultate diese Methode bei der Untersuchung der Schwarzerde von Samtschiki ergeben hat.

---

Zu meinen Versuchen, die ich in dem im Garten des Landwirtschaftlichen Institutes der Universität Leipzig gelegenen Vegetationshause ausführte, benutzte ich zylindrische Blechgefäße von 25 cm Höhe und 24,5 cm lichtem Durchmesser. Zur Vermeidung starker Erwärmung durch die Sonnenstrahlen wurden die Gefäße außen weiß gestrichen. An der Innenseite der Wand befanden sich zum Zwecke der Wasserversorgung und Durchlüftung des Bodens zwei am Boden rechtwinklig gebogene Röhren. Der Boden der Gefäße wurde soweit mit Kies bedeckt, daß die Enden der Wasserröhrchen nicht mehr sichtbar waren; dadurch wurde eine gleichmäßige Verteilung des Wassers beim Begießen der Gefäße und die Herstellung eines gleichen Gewichtes für alle Gefäße erreicht.

Der für die Vegetationsversuche benutzte Boden wurde einem für Samtschiki typischen Felde bis zur Tiefe von 20 cm entnommen und nach Leipzig geschickt.

---

[1]) P. Wagner, Die Stickstoffdüngung der landwirtschaftl. Kulturpflanzen 1892, S. 10.

Vor der Füllung der Gefäße wurde der Boden in einer flachen Schicht ausgebreitet; nachdem er lufttrocken geworden war, wurde er sorgfältig durchgemischt.

Um die in den Gefäßen infolge Begießens sehr häufig vorkommende Rißbildung und das Zusammensinken des Bodens zu vermeiden, wurde die Erde nicht auf einmal in die Gefäße geschüttet, sondern nach und nach und jedesmal mit einem der Form des Gefäßes entsprechenden runden Brette niedergedrückt. Dadurch wurde in allen Gefäßen die gleiche Dichtigkeit der Erde erzielt. Jedes Gefäß wurde mit 15,08 kg lufttrockener Erde beschickt.

Das Gewicht eines jeden Gefäßes betrug mit Kies 3,92 kg, daher einschließlich der Erde 19 kg.

### Die Düngemittel.

Als Düngemittel wurden Chilesalpeter, 40prozent. Kalisalz und Superphosphat angewendet.

Die von mir angeführte Analyse ergab folgenden Gehalt:

Chilisalpeter . . . . . 15,73% Stickstoff
Kalisalz . . . . . 40% Kali
Superphosphat . . . . . 18,19% wasserl. Phosphorsäure.

Die Menge der auf die Fläche jeden Gefäßes (0,0472 qm) verwendeten Düngemittel entsprach den in der Praxis im allgemeinen üblichen Gaben (siehe Tab. V).

Für jeden Versuch wurden drei Vergleichsgefäße aufgestellt. Um die Wirkung verschiedener Mengen der einzelnen Nährstoffe prüfen zu können, wurde je eine Reihe mit dem in Frage stehenden Nährstoffe und die andere Reihe mit diesem Nährstoffe in halber Menge gedüngt, während eine weitere Reihe ungedüngt blieb. Folgende Übersicht läßt die Versuchsanordnung erkennen.

Tabelle V (Menge des Düngers).

| Versuch | Pro Gefäß g | | | Pro Hektar kg | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| No. | Chilesalpeter | Kalisalz | Superphosphat | Chilesalpeter | Kalisalz | Superphosphat |
| I | — | — | — | — | — | — |
| II | 1,416 | 0,708 | 1,888 | 300 | 150 | 400 |
| III | 1,416 | 0,708 | 0,944 | 300 | 150 | 200 |
| IV | 1,416 | 0,708 | — | 300 | 150 | — |
| V | 1,416 | 0,472 | 1,888 | 300 | 100 | 400 |
| VI | 1,416 | — | 1,888 | 300 | — | 400 |
| VII | 0,708 | 0,708 | 1,888 | 150 | 150 | 400 |
| VIII | — | 0,708 | 1,888 | — | 150 | 400 |

Dies entspricht folgenden Mengen an den einzelnen Nährstoffen:

Tabelle VI (Menge der Nährstoffe).

| Versuch | Pro Gefäß g | | | Pro Hektar kg | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| No. | N | K | $P_2O_5$ | N | K | $P_2O_5$ |
| I | — | — | — | — | — | — |
| II | 0,2227 | 0,283 | 0,343 | 47,19 | 60 | 72,76 |
| III | 0,2227 | 0,283 | 0,172 | 47,19 | 60 | 36,38 |
| IV | 0,2227 | 0,283 | — | 47,19 | 60 | — |
| V | 0,2227 | 0,188 | 0,343 | 47,19 | 40 | 72,76 |
| VI | 0,2227 | — | 0,343 | 47,19 | — | 72,76 |
| VII | 0,1113 | 0,283 | 0,343 | 23,59 | 60 | 72,76 |
| VIII | — | 0,283 | 0,343 | — | 60 | 72,76 |

Drei weitere Versuche sollten darüber Aufschluß geben, ob das Kalken der Schwarzerde seine Ertragsfähigkeit beeinflußt.

Tabelle VII.

| Versuch | Pro Gefäß g | | | | Pro Hektar kg | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| No. | Chilesalpeter | Kalisalz | Superphosphat | Gebrannt. Kalk | Chilesalpeter | Kalisalz | Superphosphat | Gebrannt. Kalk |
| IX | — | — | — | 20 | — | — | — | 4240 |
| X | — | — | 1,888 | 20 | — | — | 400 | 4240 |
| XI | 1,416 | 0,708 | 1,888 | 20 | 300 | 150 | 400 | 4240 |

Zum Zwecke einer möglichst gleichmäßigen Verteilung der Düngemittel wurden diese zuerst getrocknet, zerrieben, drei Tage vor der Saat über die Oberfläche der Gefäße verteilt und schließlich mit Hilfe eines Glasstabes gut mit der oberen Bodenschicht vermischt. Dann wurden alle Gefäße mit der gleichen Menge Wasser begossen, um die Düngersalze gleichmäßig zu verteilen. Der Chilesalpeter wurde in zwei Hälften gegeben, und zwar die eine vor der Saat, die andere später als Kopfdüngung.

Der Kalk wurde mit der gesamten Menge des Bodens gemischt und mit dieser Mischung dann das Gefäß gefüllt.

### Die Versuchspflanze.

Als Versuchspflanze wurde Sommerweizen (Ulka) gewählt. Der Grund für diese Wahl war ein doppelter: Auf den Feldern von Samtschiki

wird Weizen als Hauptfrucht gebaut, die Beobachtungen hatten also für mich auch praktische Bedeutung; ferner ist der Sommerweizen wegen seiner kurzen Vegetationszeit eine anspruchsvolle Pflanze, bei der das Nährstoffbedürfnis des Bodens besonders scharf hervortritt.

### Der Samen.

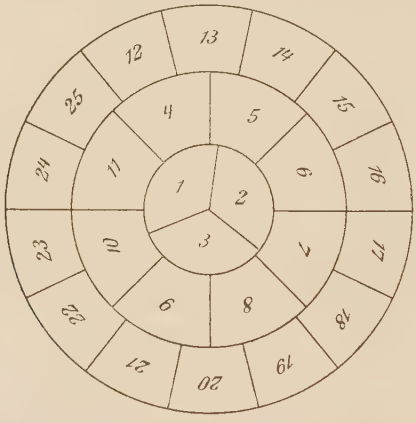
Möglichst übereinstimmende Bedingungen bei der Saat und eine gleiche Zahl Pflanzen in allen Gefäßen wurden dadurch zu erreichen versucht, daß nach ihrem Aussehen die besten Körner ausgesucht und auf ihre Keimfähigkeit geprüft wurden. Die bei Zimmertemperatur angestellte Keimprüfung ergab in 5 Tagen

Probe I . . . . . 99 Keimlinge
„ II . . . . . 100 „

Es wurde auch für ein möglichst gleiches Gewicht der für jedes Gefäß bestimmten 25 Körner Sorge getragen. Je 25 Körner wogen 12,432 bis 12,450 g.

### Art der Saat.

Um allen Körnern gleichen Standraum zu geben, wurde eine runde, der Gefäßoberfläche angepaßte Scheibe aus Pappe ausgeschnitten, in 25 mög-




lichst gleiche Flächen geteilt (siehe Abbildung) und in der Mitte jeder Abteilung eine kleine Öffnung angebracht. Durch diese Öffnungen wurden die Körner gelegt und mit Erde bedeckt.

### Das Begießen.

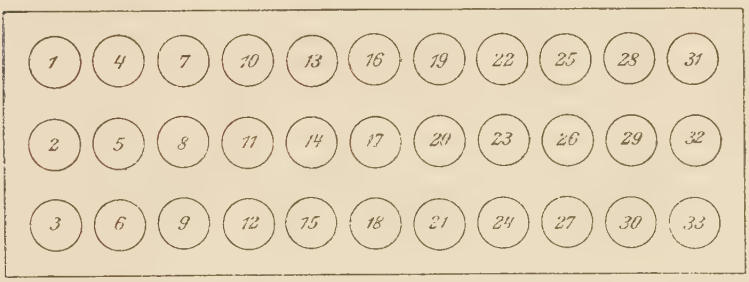
Vielfach bemißt man bei Gefäßversuchen den Wassergehalt des Bodens zu 60 % der vollen Wasserkapazität. Bei Versuchen mit Schwarzerde wurde jedoch öfters beobachtet, daß eine solche Wassermenge den Pflanzen nicht

zusagt.[1]) Unter Berücksichtigung der hohen Wasserkapazität dieses Bodens beschloß ich, 40% der vollen Wasserkapazität innezuhalten, was (bei einer Wasserkapazität von 33%) 1,99 kg Wasser auf das Gefäß ergibt. Das Gewicht jeden Gefäßes mit Wasser war also 20,99 kg (siehe S. 34).

Zum Zwecke des Wasserersatzes, der täglich stattfand, wurde das Gefäß auf eine Wage gestellt und solange Wasser zugegeben, bis das Gewicht 20,99 kg betrug. Das Begießen wurde stets zu derselben Tageszeit vorgenommen, und zwar Morgens zwischen 7—8 Uhr. Es wurde ausschließlich destilliertes Wasser verwendet. Der größte Teil des Wassers wurde durch die Röhren eingegossen, also von unten von der Erde aufgesaugt; der Rest wurde durch ein kleines Sieb auf die Oberfläche gegeben. Dadurch wurde die ganze Erdmasse gleichmäßig durchfeuchtet und der Bildung von Rissen, welche beim Austrocknen der oberen Schichten leicht auftreten, vorgebeugt. Auch die Möglichkeit des Auskristallisierens der Salze bei starker Verdunstung wurde dadurch vermieden.

### Die Belichtung.

Die Gefäße wurden auf einem Wagen in folgender Weise aufgestellt:




Um allen Gefäßen während des Versuches möglichst dieselbe Lichtmenge zukommen zu lassen, wurden sie täglich der Reihe nach umgestellt, das erste an Stelle des letzten (33), das zweite an Stelle des ersten usw. Das erste Gefäß kehrte also nach 33 Tagen an seine ursprüngliche Stelle zurück.

### Schutz gegen Störungen.

Der Wagen, welcher auf Schienen lief und deshalb bequem aus dem Vegetationshause heraus- und in dasselbe wieder hineingefahren werden konnte, stand am Tage bei günstigem Wetter in einem freien, von oben und an den Seiten mit Drahtgitter abgeschlossenen, südlich vom Vegetationshause gelegenen Raume; während der Nacht und bei Regen, Sturm u. dergl. verblieb der Wagen mit den Gefäßen in dem mit Glaswandungen und Ventilationsfenstern ausgestatteten Vegetationshause.

[1]) Kossowitsch, Bericht des landw. Laborat. an das Ministerium für Landwirtschaft 1900, S. 24 (russisch).

**Vegetationsverlauf.**

Am 13. Mai 1902 vormittags wurde die Aussaat vorgenommen, am 17. Mai erschienen die ersten und am 20. Mai die letzten Pflänzchen. Die Keimung verlief, wie es die folgende Tabelle zeigt, in allen Gefäßen gleichmäßig:

Tabelle VIII.

Am 17. Mai hatten:

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 5 | Gefäße | . . | 0 | Keimlinge | pro Gefäß |
| 9 | „ | . . | 1 | „ | „ „ |
| 8 | „ | . . | 2 | „ | „ „ |
| 6 | „ | . . | 3 | „ | „ „ |
| 6 | „ | . . | 4 | „ | „ „ |

Am 20. Mai hatten:

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Gefäße | . . | 23 | Keimlinge | pro Gefäß |
| 26 | „ | . . | 24 | „ | „ „ |
| 16 | „ | . . | 25 | „ | „ „ |

Um in allen Gefäßen die Zahl von Pflanzen gleich zu machen, wurde aus allen Gefäßen mit 25 Pflanzen je eine entfernt, so daß jedes Gefäß 24 Pflanzen enthielt; nur Gefäß No. 33 hatte 23 Pflanzen.

Mitte Juni machten sich auf den Pflanzen Blattläuse bemerkbar. Zur Vernichtung dieses Ungeziefers wurden die Pflanzen mittels eines starken Pulverisators mit einer schwachen wässerigen Aquinollösung zweimal täglich, früh und abends nach Sonnenuntergang, bespritzt, worauf nach kurzer Zeit bis auf einen unbedeutenden Rest die Läuse vernichtet waren.

Am 8. Juli begann das Schossen. Dabei bemerkte ich, daß einige Pflanzen in den Gefäßen No. 10 (3 Ähren), No. 13 (4 Ähren) und No. 33 (1 Ähre) vom Flugbrande (Ustilago) befallen waren. Die kranken Pflanzen wurden sofort abgeschnitten und die Ergebnisse dieser Versuche nicht weiter verwertet. Weitere Störungen traten nicht auf.

Die Blütezeit, die am 14. Juli ihren Anfang nahm, verlief für sämtliche Pflanzen normal, wie die folgende Tabelle erkennen läßt.

Tabelle IX.

| | Zahl der Gefäße | Zahl der blühenden Pflanzen pro Gefäß |
|---|---|---|
| 19. Juli — 5 Tage nach Beginn der Blütezeit | 9 | 18 |
| 19. „ — 5 „ „ „ „ „ . . . | 10 | 20 |
| 19. „ — 5 „ „ „ „ „ . . . | 2 | 21 |
| 19. „ — 5 „ „ „ „ „ . . . | 5 | 22 |
| 19. „ — 5 „ „ „ „ „ . . . | 6 | 23 |
| 19. „ — 5 „ „ „ „ „ . . . | 1 | 24 |

Die Reifung erstreckte sich über die Tage vom 23. Juli bis zum 15. August. Schon zu Beginn des Schossens zeigte sich, daß das Wachstum der Pflanzen in den Gefäßen 1, 2, 3 (Versuch I), 10, 11, 12 (Versuch IV), 25, 26, 27 (Versuch IX, siehe Tab. XII S. 41, Tab. XIII S. 42) d. h. ohne Phosphorsäuredüngung gegenüber den mit Phosphorsäure gedüngten zurückgeblieben war; noch deutlicher trat dieser Unterschied während der Zeit der Reifung hervor, wie dies die photographischen Aufnahmen deutlich erkennen lassen.[1])

Folgende Tabelle veranschaulicht den Unterschied in der Halmlänge der verschieden gedüngten Pflanzen in Zahlen:

Tabelle X.[2])

| Versuch | Chilesalpeter | Kalisalz | Superphosphat | Halmlänge cm |
|---|---|---|---|---|
| I | — | — | — | 113,45 |
| II | 1,416 | 0,708 | 1,888 | 132,15 |
| III | 1,416 | 0,708 | 0,944 | 125,45 |
| IV | 1,416 | 0,708 | — | 109,99 |
| V | 1,416 | 0,472 | 1,888 | 125,28 |
| VI | 1,416 | — | 1,888 | 128,38 |
| VII | 0,708 | 0,708 | 1,888 | 128,18 |
| VIII | — | 0,708 | 1,888 | 129,71 |

Tabelle XI.[2])

| Versuch | Chilesalpeter | Kalisalz | Superphosphat | Gebr. Kalk | Halmlänge cm |
|---|---|---|---|---|---|
| IX | — | — | — | 20 | 113,34 |
| X | — | — | 1,888 | 20 | 127,66 |
| XI | 1,416 | 0,708 | 1,888 | 20 | 127,01 |

### Die Ernte.

Obgleich das Keimen, das Schossen und das Blühen der Pflanzen in allen Gefäßen normal und gleichzeitig vor sich ging, so machte sich doch beim Reifen ein gewisser Unterschied bemerkbar. Damit aus den früher gereiften Ähren die Samen nicht herausfielen, erwies es sich als zweckmäßig, mit der Ernte dieser Ähren nicht bis zur vollen Ausreifung sämtlicher Pflanzen zu warten. Der Unterschied in der Reifezeit betrug nur vier Tage; die Ernte wurde am 15. August begonnen und am 19. August beendigt. Von jeder reifen Pflanze wurde mit einer gewöhnlichen Schere

[1]) Siehe die Tafeln am Schlusse.

[2]) Alle Pflanzen von jedem Gefäße wurden beim Abschneiden gemessen und daraus der Durchschnitt berechnet.

zuerst die Ähre abgeschnitten und alsdann der Stengel am Wurzelhalse. Die Körner wurden durch Zerreiben mit der Hand von den Ähren und die Körner dann von der Spreu getrennt. Das Stroh wurde in kleine Stücke zerschnitten. Körner, Spreu und Stroh wurden in geeigneter Weise getrocknet; das lufttrockene Gewicht ist aus Tabelle XII ersichtlich.

**Die Ergebnisse des Vegetationsversuches.**

Tabelle XII.

| Versuch No. | Art der Düngung pro Gefäß | | | Gefäß No. | Lufttrockene Substanz | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | Ertrag in Gramm | | | | Durchschnitt pro Gefäß | | | |
| | Chilesalpeter | Kalisalz | Superphosphat | | Korn | Stroh | Spreu | Zusammen | Korn | Stroh | Spreu | Zusammen |
| I | — | — | — | 1 | 10,99 | 27,28 | 4,02 | 42,29 | | | | |
| | | | | 2 | 11,75 | 28,39 | 3,80 | 43,94 | 11,12 | 27,26 | 3,91 | 42,29 |
| | | | | 3 | 10,62 | 26,11 | 3,93 | 40,66 | | | | |
| II | 1,416 | 0,708 | 1,888 | 4 | 13,94 | 38,13 | 4,32 | 56,39 | | | | |
| | | | | 5 | 14,18 | 38,68 | 4,31 | 57,17 | 14,91 | 38.80 | 4,63 | 58,33 |
| | | | | 6 | 16,62 | 39,58 | 5,27 | 61,47 | | | | |
| III | 1,416 | 0,708 | 0,944 | 7 | 14,03 | 34,62 | 4,32 | 52,97 | | | | |
| | | | | 8 | 15,12 | 35,79 | 4,01 | 54,92 | 15,15 | 35,66 | 4,39 | 55,20 |
| | | | | 9 | 16,30 | 36,57 | 4,84 | 57,71 | | | | |
| IV | 1,416 | 0,708 | — | 10 | — | — | — | —[1]) | | | | |
| | | | | 11 | 11,00 | 26,67 | 4,30 | 42,97 | 10,66 | 25,98 | 3.92 | 40,56 |
| | | | | 12 | 10,32 | 25,30 | 3,55 | 38,17 | | | | |
| V | 1,416 | 0,472 | 1,888 | 13 | — | — | — | —[1]) | | | | |
| | | | | 14 | 13,38 | 37,24 | 4,90 | 55,52 | 13,29 | 36,19 | 4,71 | 54,20 |
| | | | | 15 | 13,21 | 35,14 | 4,53 | 52,88 | | | | |
| VI | 1,416 | — | 1,888 | 16 | 15,31 | 37,11 | 5,07 | 57,87 | | | | |
| | | | | 17 | 14,44 | 38,57 | 5,36 | 57,88 | 15,33 | 38,38 | 5,13 | 58,84 |
| | | | | 18 | 16,23 | 39,45 | 4,97 | 61,05 | | | | |
| VII | 0,708 | 0,708 | 1,888 | 19 | 12,32 | 36,65 | 4,15 | 52,18 | | | | |
| | | | | 20 | 12,73 | 36,40 | 4,29 | 54,42 | 13,27 | 37,13 | 4,39 | 54,79 |
| | | | | 21 | 14,71 | 38,34 | 4,74 | 57,79 | | | | |
| VIII | — | 0,708 | 1,888 | 22 | 13,23 | 36,88 | 4,23 | 55,34 | | | | |
| | | | | 23 | 13,39 | 39,55 | 4,53 | 56,47 | 14,41 | 38,28 | 4,36 | 57,07 |
| | | | | 24 | 14,69 | 38,40 | 4,33 | 59,42 | | | | |

[1]) Siehe S. 38 (Vegetationsverlauf).

Die Zahlen dieser Tabelle bestätigen das, was sich schon aus den photographischen Abbildungen der Pflanzen ersehen ließ.[1]) Die Wirkung der Phosphorsäuredüngung gibt sich bei einem Vergleiche der Resultate der Versuche I, II, III, IV (Tab. XIIa) klar zu erkennen. Überall da, wo die Phosphorsäure gefehlt hat, ist der Ertrag sowohl an Korn, als auch an Stroh wesentlich geringer. Die günstige Wirkung der Phosphorsäuredüngung ist also zweifellos.

Tabelle XIIa.

Die Wirkung der Phosphorsäuredüngung.

| Versuch | Art der Düngung g | | | Ertrag an lufttrockener Substanz, Durchschnitt pro Gefäß g | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| No. | Chilesalpeter | Kalisalz | Superphosphat | Korn | Stroh | Spreu | Zusammen |
| I | – | — | — | 11,12 | 27,26 | 3,91 | 42,29 |
| II | 1,416 | 0,708 | 1,888 | 14,91 | 38,80 | 4,63 | 58,33 |
| III | 1,416 | 0,708 | 0,944 | 15,15 | 35,66 | 4,39 | 55,20 |
| IV | 1,416 | 0,708 | — | 10,66 | 25,98 | 3,92 | 40,56 |

Wenn wir ferner das Ergebnis des Versuches III, bei dem nur die Hälfte der Phosphorsäure verwendet wurde (d. h. 0,944 g auf 1 Gefäß), mit den Ergebnissen der Versuche V, VI, VII, VIII (mit Volldüngung, d. h. 1,888 g auf 1 Gefäß) vergleichen (Tab. XIIb), so bemerken wir nicht nur keine Erhöhung des Ertrages bei letzterer Düngung, sondern teilweise sogar eine kleine Verminderung. Das beweist, daß die Halbdüngung zur Erreichung des höchsten Körnerertrages vollständig genügend war.

Tabelle XIIb.

Wirkung der Phosphorsäuredüngung.

| Versuch | Art der Düngung g | | | Ertrag an lufttrockener Substanz, Durchschnitt pro Gefäß g | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| No. | Chilesalpeter | Kalisalz | Superphosphat | Korn | Stroh | Spreu | Zusammen |
| III | 1,416 | 0,708 | 0,944 | 15,15 | 35,66 | 4,39 | 55,20 |
| V | 1,416 | 0,472 | 1,888 | 13,29 | 36,19 | 4,71 | 54,20 |
| VI | 1,416 | — | 1,888 | 15,33 | 38,38 | 5,13 | 58,84 |
| VII | 0,708 | 0,708 | 1,888 | 13,27 | 37,13 | 4,39 | 54,79 |
| VIII | — | 0,708 | 1,888 | 14,41 | 38,28 | 4,36 | 57,07 |

[1]) Siehe Tafeln am Schlusse.

Stellen wir ferner die Versuche II, V, VI, welche über die Wirkung der Kalidüngung Aufschluß geben sollen, einander gegenüber (Tab. XII c), so ist der Unterschied in den Erträgen nicht derart, um bestimmte Schlüsse ziehen zu können. Der geringere Ertrag beim Versuche V (Zweidrittel-Kalidüngung 0,472 g) gegenüber II (Vollkalidüngung 0,708 g) besagt nichts, da beim Versuche VI (ohne Kalidüngung) der Ertrag auch höher ist, als bei voller Kaligabe.

Tabelle XII c.

Wirkung der Kalidüngung.

| Versuch | Art der Düngung g | | | Ertrag an lufttrockener Substanz, Durchschnitt pro Gefäß g | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| No. | Chile-salpeter | Kalisalz | Super-phosphat | Korn | Stroh | Spreu | Zusammen |
| II | 1,416 | 0,708 | 1,888 | 14,91 | 38,80 | 4,63 | 58,33 |
| V | 1,416 | 0,472 | 1,888 | 13,29 | 36,19 | 4,71 | 54,20 |
| VI | 1,416 | — | 1,888 | 15,33 | 38,38 | 5,13 | 58,84 |

Ebenso steht es mit der Stickstoffdüngung. Aus den Versuchen I, II, IV, VII, VIII (Tab. XII d) ergibt sich die Wirkungslosigkeit dieses Nährstoffes.

Tabelle XII d.

Wirkung der Stickstoffdüngung.

| Versuch | Art der Düngung g | | | Ertrag an lufttrockener Substanz, Durchschnitt pro Gefäß g | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| No. | Chile-salpeter | Kalisalz | Super-phosphat | Korn | Stroh | Spreu | Zusammen |
| I | — | — | — | 11,12 | 27,26 | 3,91 | 42,29 |
| II | 1,416 | 0,708 | 1,888 | 14,91 | 38,80 | 4,63 | 58,33 |
| IV | 1,416 | 0,708 | — | 10,66 | 25,98 | 3,92 | 40,56 |
| VII | 0,708 | 0,708 | 1,888 | 13,97 | 37,13 | 4,39 | 54,79 |
| VIII | — | 0,708 | 1,888 | 14,41 | 38,28 | 4,36 | 57,07 |

Daß die Stickstoff-Kalidüngung (N + K) ohne Beigabe von Phosphorsäure den Ertrag nicht erhöht hat, zeigen die Versuche I (ungedüngt) und IV (N + K ohne $P_2O_5$). Der Ertrag ist bei Versuch IV sogar etwas geringer als bei Versuch I.

Die Frage, ob die Kalkdüngung gewirkt oder die Wirkung der übrigen Düngemittel gesteigert hat, wird durch die Versuche IX, X und XI beantwortet (Tab. XIII).

Tabelle XIII.

| Versuch No. | Art der Düngung g | | | | Gefäß No. | Lufttrockene Substanz | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | Ertrag in Gramm | | | | Durchschnitt pro Gefäß | | | |
| | Chilesalpeter | Kalisalz | Superphosphat | Gebr. Kalk | | Korn | Stroh | Spreu | Zusammen | Korn | Stroh | Spreu | Zusammen |
| IX | — | — | — | 20 | 25 | 9.87 | 29,82 | 4,10 | 43,79 | | | | |
| | | | | | 26 | 8,37 | 28,40 | 3,78 | 41,55 | 9,68 | 28,97 | 3,64 | 42,29 |
| | | | | | 27 | 10,81 | 28,70 | 3,04 | 41,56 | | | | |
| X | — | — | 1,888 | 20 | 28 | 13,81 | 36,52 | 5,01 | 55,34 | | | | |
| | | | | | 29 | 13,84 | 36,11 | 4,32 | 54,27 | 14,46 | 37,33 | 4,68 | 56,47 |
| | | | | | 30 | 15,72 | 39,38 | 4,73 | 58,83 | | | | |
| XI | 1,416 | 0,708 | 1,888 | 20 | 31 | 15,06 | 42,16 | 5,14 | 59,36 | | | | |
| | | | | | 32 | 13,17 | 40,28 | 4,70 | 61,15 | 14,12 | 41,22 | 4,92 | 60,26 |
| | | | | | 33 | — | — | — | —[1]) | | | | |

Die Stickstoff-Kalidüngung (Versuche X und XI haben auch bei Kalkung nicht gewirkt. Dagegen hat die Phosphorsäuredüngung auch hier den Ertrag bedeutend erhöht.

Aus den Versuchen I und IX (Tab. XIIIa) ergibt sich, daß das Kalken eher nachteilig als förderlich gewesen ist, indem der Körnerertrag bei IX

Tabelle XIIIa.

Wirkung der Kalkdüngung.

| Versuch No. | Art der Düngung g | | | | Ertrag an lufttrockener Substanz, Durchschnitt pro Gefäß g | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Chilesalpeter | Kalisalz | Superphosphat | Gebrannt. Kalk | Korn | Stroh | Spreu | Zusammen |
| I | — | — | — | — | 11,12 | 27,26 | 3,91 | 42,29 |
| IX | — | — | — | 20 | 9,68 | 28,97 | 3,64 | 42,29 |

[1]) Siehe S. 38 (Vegetationsverlauf).

niedriger ist als bei I (ohne Kalk). Dasselbe ergibt sich aus dem Vergleiche des Versuches II (Volldüngung $N + K + P_2O_5$) mit XI (Volldüngung $N + K + P_2O_5 +$ Kalk [Tab. XIII b]). Auch bei IX ist der Korn-Ertrag etwas niedriger; dagegen hat — wie beim Versuche IX — der Ertrag an Stroh eine Zunahme erfahren.

Tabelle XIII b.

Wirkung der Kalkdüngung.

| Versuch | Art der Düngung g | | | | Ertrag an lufttrockener Substanz, Durchschnitt pro Gefäß g | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| No. | Chilesalpeter | Kalisalz | Superphosphat | Gebrannt. Kalk | Korn | Stroh | Spreu | Zusammen |
| II | 1,416 | 0,708 | 1,888 | — | 14,91 | 38,80 | 4,63 | 58,33 |
| XI | 1,416 | 0,708 | 1,888 | 20 | 14,12 | 41,22 | 4,92 | 60,26 |

Folgende Tabellen (XIV und XV) geben ein Bild über die Wirkung der verschiedenen Düngemittel auf das Verhältnis des Körner-Ertrages zum Stroh-Ertrage.

Tabelle XIV.

| Versuch | Chilesalpeter | Kalisalz | Superphosphat | Vom Gesamtertrage entfallen in Prozenten auf | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Korn | Stroh + Spreu |
| I | — | — | — | 26,29 | 73,71 |
| II | 1,416 | 0,708 | 1,888 | 25,56 | 74,74 |
| III | 1,416 | 0,708 | 0,944 | 27,44 | 72,56 |
| IV | 1,416 | 0,708 | — | 27,07 | 72,93 |
| V | 1,416 | 0,472 | 1.888 | 24,52 | 75,48 |
| VI | 1,416 | — | 1,888 | 27,46 | 72,54 |
| VII | 0,708 | 0,708 | 1,888 | 24,22 | 75,78 |
| VIII | — | 0,708 | 1,888 | 25,28 | 74,72 |

Tabelle XV.

| Versuch | Chilesalpeter | Kalisalz | Superphosphat | Gebrannter Kalk | Vom Gesamtertrage entfallen in Prozenten auf | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | Korn | Stroh + Spreu |
| IX | — | — | — | 20 | 22,89 | 77,11 |
| X | — | — | 1,888 | 20 | 25,89 | 74,11 |
| XI | 1,416 | 0,708 | 1,888 | 20 | 23,42 | 76,58 |

An der Hand dieser Tabellen darf man behaupten, daß das Kalken der Schwarzerde auf das Verhältnis des Strohertrages zum Körnerertrage nicht ohne Einfluß ist, indem nach den Versuchen I, II, IX, X und XI der Strohertrag sich auf Kosten desjenigen an Körnern erhöht hat.

Über die Wirkung der anderen Düngemittel auf dieses Verhältnis läßt sich nichts Bestimmtes sagen.

Die Resultate der Vegetationsversuche führen zu dem Ergebnis, daß der Boden von Samtschiki der Phosphorsäure bedarf. Sie bestätigen also die Annahme, zu welcher das Ergebnis der Analyse des mit 10prozent. Salzsäure erhaltenen Bodenauszuges und der Bestimmung der von den Pflanzen aufnehmbaren Phosphorsäure mit 2prozent. Essigsäure geführt hatte. Alle drei Methoden bestätigen übereinstimmend das Bedürfnis des Tschernosëms von Samtschiki für Phosphorsäure. Die Resultate der chemischen Analyse haben jedoch nur gezeigt, daß in diesem Boden die Phosphorsäure im Minimum vorhanden ist. Der Vegetationsversuch in den Gefäßen hat dies bestätigt, zeigte aber weiter das Ergebnis, welches die chemische Analyse nicht geliefert hatte und nicht liefern konnte: daß die Halbdüngung mit Superphosphat denselben, ja sogar einen höheren Ertrag als die Volldüngung hervorgebracht hat.

Dieses Resultat liefert schon einen Anhaltspunkt zur Beantwortung der Frage, welche Mengen von Phosphorsäure für Weizen dem Boden von Samtschiki zuzuführen sind.

Wenn man die geringe Phosphorsäuremenge in den Bodenauszügen, die sowohl mit 10prozent. Salzsäure (0,032% $P_2O_5$), als mit 2prozent. Essigsäure erhalten sind (0,00073% $P_2O_5$), in Betracht zieht, so könnte man daraus auf die Notwendigkeit einer Volldüngung mit $P_2O_5$ schließen. Da dies aber nicht zutrifft, so ergiebt sich daraus wiederum, daß die sogenannte chemische Bodenanalyse nur zeigen kann, ob der Boden viel oder wenig Nährstoffe enthält, aber nicht, mit welchen Mengen er gedüngt werden muß, um die höchsten Erträge hervorzubringen. Es läßt sich nun die Frage aufwerfen: Geben die Resultate des Düngungsversuches in Gefäßen eine klare Antwort auf die Frage nach der zweckmäßigen Düngung auf dem Acker? Lassen sich die bei Gefäßversuchen erhaltenen Ergebnisse auf das Feld übertragen?

Die Verhältnisse, unter welchen die Pflanzen in den Gefäßen und auf dem Felde wachsen, sind in vieler Beziehung sehr verschieden. Erstens besteht ein wesentlicher Unterschied in der Wasserzufuhr. Die Gefäßpflanzen werden während der ganzen Vegetationsperiode mit Wasser versorgt, wogegen der Wassergehalt des Ackers große Schwankungen aufweist. Die oberen, manchmal auch die tieferen Schichten des Ackers trocknen häufig aus, die vorhandenen Nährstoffe können nicht in genügender Menge gelöst werden und bleiben für die Pflanze unzugänglich. Das ist sehr deutlich

aus den Gefäßversuchen mit armen Sandböden zu ersehen.[1]) Schulze sagt darüber: „Bei Vegetationsversuchen trifft man öfters auf die Erscheinung, daß Sandböden auffallend hohe Erträge ohne jede Düngung geben. Diese Erscheinung ist zweifellos darauf zurückzuführen, daß solche Sandböden unter dem natürlichen Einflusse eines Wassermangels stehen, wodurch das Wachstum und die Ausnutzung der Nährstoffe herabgesetzt wird. Dadurch muß andrerseits eine Anreicherung an löslichen Nährstoffen eintreten, die sofort zum Vorschein kommt, wenn, wie bei den vorliegenden Versuchen, eine regelmäßige Wasserzufuhr erfolgt.“ Noch klarer tritt der Einfluß des Wassergehaltes durch die Versuchsergebnisse von Seelhorst, Behn und Wilms[2]) hervor. Die Quantität der gelösten, den Pflanzen zugänglichen Nährstoffe ist also in den Gefäßen höher als im Felde, und die Ernährung der Pflanzen geht daher in jenen viel intensiver vor sich, als auf diesem.

In dieser Richtung ist auch der Unterschied der Temperatur von Einfluß. Durch die Sonne werden die Gefäßwandungen stark erwärmt und diese Wärme wird dem Boden zugeführt. Daher ist die Bodentemperatur in den Gefäßen bedeutend höher als im Felde.[3]) Bei höherer Temperatur verlaufen alle chemischen Prozesse energischer; auf diese Weise wird eine größere Nährstoffmenge in den aufnehmbaren Zustande übergeführt; daher wird die Gesamtmenge der nutzbaren Nährstoffe im Gefäßboden größer sein, als in der entsprechenden Bodenmenge des Feldes.

Die mechanischen Eigenschaften des Bodens in den Gefäßen und auf dem Acker sind ebenfalls wesentlich andere. In den Gefäßen ist der Boden lockerer und aus diesem Grunde für die Luft zugänglicher. Infolgedessen werden für die Entwicklung des Wurzelsystems so günstige Bedingungen geschaffen, wie sie gewöhnlich auch durch die vollkommenste technische Bodenbearbeitung nicht hergestellt werden können. Die kräftigere Entwicklung der Wurzeln ist auch mit einer vollkommeneren Ausnutzung der Nährstoffe des Bodens verknüpft. Ferner ist das bei Vegetationsversuchen in Gefäßen benutzte Saatmaterial ein anderes als bei den Feldsaaten. Es werden bei jenen meistens die am vollkommensten entwickelten Samen ausgewählt, so daß schon deshalb der Ertrag höher ist.

Bei den Gefäßversuchen steht jeder Pflanze eine bestimmte Bodenfläche zur Verfügung; sie kann sich deshalb ohne Störung durch benachbarte Pflanzen entwickeln. Diese Regelmäßigkeit des Standraumes kann im Felde nicht erreicht werden.

Endlich kann man die Pflanzen in den Gefäßen vor den Störungen

[1]) Schulze, Kulturen in Vegetationsgefäßen zur Prüfung des Düngerbedürfnisses von Böden der Provinz Schlesien. Jahresbericht der agrik.-chem. Versuchsstation in Breslau 1900.

[2]) Journal f, Landw. 1902, S. 304, 313, 320—321.

[3]) Journal f. Landw. 1895, Bd. 43, S. 205. Liebscher, Untersuch. über die Bestimmung des Düngerbedürfnisses der Ackererden und Kulturpflanzen.

und Beschädigungen schützen, denen sie im Felde ausgesetzt sind: Unkraut, Insekten, Platzregen, starker Wind usw.

Diese künstlich günstig gestalteten Vegetationsbedingungen bei den Gefäßversuchen äußern sich auch sehr deutlich in dem enormen Ertrage, den man im Vergleiche zum Feldversuche erhält. Die Frage, ob die Ergebnisse des Versuches in Gefäßen sich auf den Acker übertragen lassen, läßt sich dahin beantworten: Zweifellos wird der Ertrag auf dem Felde geringer ausfallen als in den Gefäßen, und deshalb sind die Gefäßversuche nicht zur Ermittelung der Rentabilität einer bestimmten Düngung geeignet; aber die Düngung wird hier wie dort in derselben Richtung wirken.

Welchen Schluß können wir daher aus den Resultaten unserer Gefäß-Versuche ziehen? Wenn bei Gefäßversuchen die Düngung keine Erhöhung des Ertrages bewirkt hat, so ist es noch nicht sicher, daß derselbe Boden auch im Felde keiner Düngung bedarf, da die Nährstoffe durch die künstlichen und günstigen Versuchsbedingungen in den Gefäßen gelöst sein können. Hat jedoch die Düngung den Ertrag in den Gefäßen erhöht, so kann man erwarten, daß die Pflanzen sich auch auf dem Acker für diese Düngung dankbar erweisen werden.

Die Schwarzerde von Samtschiki ist arm an Phosphorsäure, es kann daher durch die Zuführung dieses Nährstoffes die Fruchtbarkeit des Bodens erhöht werden.

In den Gefäßen hatte die Halbdüngung eine gleiche, zuweilen sogar eine größere Wirkung geäußert, als die Volldüngung. Dieses Resultat dürfen wir aber nicht ohne weiteres auf das Feld übertragen. Der Boden in den Gefäßen ist solchen Prozessen unterworfen, welche die Menge der aufnehmbaren Nährstoffe erhöhen; es wird sich daher sein Düngerbedürfnis bei Gefäßversuchen weniger geltend machen. Deshalb war es nicht ausgeschlossen, daß die Phosphorsäuremenge, welche bei den Vegetationsversuchen in Gefäßen als genügend erschien und den Ansprüchen der Pflanze am besten entsprach, sich auf dem Felde als zu gering erweisen würde.

Die Frage nach den für die Erzielung höchster Reinerträge auf dem Boden von Samtschiki notwendigen Mengen an Phosphorsäure bleibt auch noch nach den Gefäßversuchen offen.

Zur vollständigen Aufklärung dieser praktisch wichtigsten Frage ergänzte ich meine Untersuchungen über die Schwarzerde von Samtschiki durch einen weiterhin beschriebenen Feldversuch.

## D. Der Gehalt der Ernte an Pflanzennährstoffen.

Die Methode, das Nährstoffbedürfnis des Bodens auf Grund des Gehaltes der darauf gewachsenen Pflanzen an Nährstoffen zu bestimmen, ist noch nicht viel bearbeitet und hat noch nicht diejenige Bedeutung erlangt, welche Hellriegel Heinrich und Atterberg wohl von ihr erwartet

haben. Es ist vorderhand noch nicht möglich, aus der Menge der von den Pflanzen aufgenommenen Nährstoffe einen Schluß auf die Notwendigkeit einer bestimmten Düngung zu ziehen. Deshalb hat man versucht, gewisse Grundlagen festzustellen, welche bei den Resultaten der Pflanzenanalysen zum Vergleich herangezogen werden können. So versuchte Heinrich den Minimalgehalt der Wurzeln an Nährstoffen zu ermitteln.[1]) A. v. Dikow[2]) bestimmte daneben auch den Maximalgehalt. Atterberg[3]) ergründete zu dem gleichen Zwecke das normale und das günstigste Verhältnis der Nährstoffmenge der Pflanzen untereinander und verglich dasselbe auch mit den im voraus bestimmten Mittel- und Minimumzahlen. Diese Methode wurde auch von Godlewski[4]) und Joulie[5]) empfohlen. Helmkampf[6]), der dieser Methode keine Bedeutung beimißt, meint, daß die Pflanzenanalyse mit Düngungsversuchen Hand in Hand gehen müße. Helmkampf sagt: „Die Feststellung bestimmter Normen, welche doch für mannigfache Verhältnisse Gültigkeit haben sollen, bietet aber beträchtliche Hindernisse; davon liefern die zeitraubenden Arbeiten Atterbergs genügende Beispiele. Aus diesen Gründen dürfte die vorgeschlagene Kombination der Pflanzenanalyse mit einem Düngungsversuch wegen der nicht erforderlichen Vergleichsunterlagen weniger kompliziert erscheinen;“[6]) von Seelhorst ist über diese Methode anderer Ansicht. Auf Grund seiner Versuche über den Einfluß der Wasserquantität auf den Mineralgehalt der Pflanzen kommt er zu dem Schlusse, „daß die Jahreswitterung wenigstens denselben Einfluß auf die Zusammensetzung der Pflanzentrockensubstanz ausübt, wie die Düngung. Die Unterschiede, welche die Zusammensetzung der Pflanzentrockensubstanz bei derselben Düngung in verschiedenen Jahren aufweist, sind mindestens ebenso groß, als die, welche durch verschiedene Düngung in demselben Jahre hervorgerufen werden.“[7]) Der Genannte schließt mit den Worten: „daß für die Verhältnisse der Praxis die Bestimmung der Düngerbedürftigkeit aus der Pflanzentrockensubstanz unbrauchbar ist.“[8]) Wenn demnach die Methode in Folge der Zufälligkeiten der Witterung, besonders der Menge der Niederschläge unbrauchbar ist, so drängt sich die

[1]) Heinrich, Grundlagen zur Beurteilung der Ackerkrume, 1882, S. 67.

[2]) A. v. Dikow, Beurteilung des Bodens nach den Wurzeln der Gerstenpflanze. Journ. f. Landw. XXXIX, 1891, S. 146.

[3]) Atterberg, Die Beurteilung der Bodenkraft nach der Analyse der Haferpflanze. Landw. Jahrb. 1886. 1887.

[4]) Godlewski, Über das Nährstoffbedürfnis einiger Kulturpflanzen usw. Zeitschr. des landw. Versuchswesen in Österreich 1901, S. 58.

[5]) H. Joulie, Sur la transformation des terres de la ferme A'Arcy. Journal de l'agriculture T., I. No. 1058.

[6]) Helmkampf, Journ. für Landw. 1892, S. 169.

[7]) Seelhorst, Dr. H. Behn und Dr. J. Wilms, Ist die Pflanzenanalyse im stande, die Düngerbedürfnisse des Bodens festzustellen? Journ. f. Landw. L. 1902, S. 313.

[8]) Ebenda S. 322.

Frage auf: Inwiefern kann denn die vergleichende Analyse von Pflanzen, welche unter vollkommen gleichen Bedingungen und bei günstigen Feuchtigkeitsverhältnissen aufgewachsen sind, darüber entscheiden, ob die Pflanze der Düngung bedarf oder nicht? Der Vegetationsversuch, mit verschiedenen Düngemitteln in Gefäßen ausgeführt, gewährt ebensolche konstante, gleichmäßige, günstigste Bedingungen für den Übergang der Nährstoffe aus dem Boden in die Pflanze. Wenn nun unter diesen günstigen Bedingungen die Pflanzen auf Grund der Analyse einen Nährstoff in geringer Menge enthält, so ist es wohl wahrscheinlich, daß der Boden dieses Nährstoffes bedarf und für eine entsprechende Düngung sich dankbar erweisen wird.

Außerdem gibt das Resultat der Analyse von Pflanzen, die auf verschieden gedüngten Böden gewachsen sind, über die Ursachen Aufschluß, auf welche die verschiedene Entwicklung der Pflanzen zurückzuführen ist und sie ist ferner geeignet, die Richtigkeit der Schlüsse, welche auf Grund der Ergebnisse der Gefäßversuche gezogen sind, zu bestätigen.

Diese Erwägungen haben mich veranlaßt, die bei den Gefäßversuchen erhaltene Pflanzenmasse auf ihren Nährstoffgehalt zu untersuchen.

Hellriegel, welcher zuerst versucht hat, den Nährstoffgehalt des Bodens durch die Analyse der Pflanzen zu bestimmen, untersuchte die ganze Pflanze, d. h. Körner, Stroh, Spreu und Wurzeln. Heinrich hielt es für richtiger, nicht die ganze Pflanze, sondern nur die Wurzeln der reifen Pflanzen zu analysieren. Der Grund dazu bestand für Heinrich in dem Umstande, daß die Entwicklung der einzelnen Pflanzenorgane den verschiedensten Einflüssen unterworfen ist, die auf die Organentwicklung und dadurch indirekt auf die Stoffaufnahme einwirken. Der Genannte sagt: „Die Analyse einer ganzen Pflanze kann zu irrigen Resultaten führen; die Untersuchung hat sich nur auf einzelne Organe zu erstrecken.“[1]) Heinrich wählt Wurzeln, weil diese Organe zufälligen Einflüssen am wenigsten ausgesetzt sind.

Außerdem fand dieser Forscher bei der Analyse einzelner Organe solcher Pflanzen, die auf stickstoffreichem bezw. stickstoffarmem Boden gewachsen waren, die größten Differenzen im Stickstoffgehalte der Wurzeln, woraus er folgerte, daß die Differenz des Nährstoffgehaltes sich „am beträchtlichsten in den älteren und tiefergelegenen Pflanzenteilen, am deutlichsten in den Wurzeln ausspreche.“[2]) Dieselben Organe unterwarf auch A. v. Dikow der Untersuchung; diese führte zu dem Ergebnis, daß die Wurzeln der Pflanzen das Düngerbedürfnis derselben anzeigen.[3]) Die Versuche, welche Helmkampf in Göttingen zur Prüfung der Heinrichschen Ansicht anstellte (1890), be-

[1]) Heinrich, Grundlagen zur Beurteilung der Ackerkrume, 1882, S. 61.

[2]) Heinrich, ibidem S. 61.

[3]) A. v. Dikow, Beurteilung des Bodens nach den Wurzeln der Gerstenpflanze, Journ. f. Landw. Bd. XXXIX, 1891, S. 146.

stätigten diese dahingehend, daß der Nährstoffgehalt des Bodens die Zusammensetzung der Wurzeln beeinflußt, widerlegten jedoch Heinrichs Ansicht über die hervorragende Bedeutung der Wurzeln für den betreffenden Zweck. Der Nährstoffgehalt der oberirdischen Teile zeigte in gleicher Weise wie dasjenige der Wurzeln den Einfluß verschiedener Stickstoff- und Phosphorsäuremengen des Bodens an. Die oberirdischen Organe sind also nach Helmkampf ein ebenso gutes Versuchsmaterial.[1]) Aus rein praktischen Gründen hält Helmkampf die Wurzeln für kein geeignetes Untersuchungsobjekt. Die Gewinnung der Wurzelsubstanz, das Reinigen und Auswaschen derselben von Erde usw., sowie die gesamte Herrichtung für die Analyse, alles dies ist sehr umständlich, öfters sogar mit erheblichen Beschädigungen der Wurzeln verbunden. Diese Umstände lassen die Untersuchung der oberirdischen Pflanzenteile als zweckmäßiger erscheinen. Der eine Teil, die Samen, spiegeln den Gehalt des Bodens an Phosphorsäure gut wieder; doch sind sie für das Kali, dessen Einfluß namentlich im Stroh hervortritt, nicht zu gebrauchen. Jedoch wird die im Stroh enthaltene Nährstoffmenge durch Blattverlust usw. nicht unwesentlich beeinträchtigt und deshalb kann auch das Stroh nicht als geeignetes Material angesehen werden. Helmkampf will diese Schwierigkeiten umgehen, indem er vorschlägt, die gesamte oberirdische Pflanzenmasse im Stadium der Blüte zur Analyse zu verwenden.[2]) In diesem Stadium sind noch keine Verluste an Blättern, Stroh usw. eingetreten und die Nährstoffaufnahme ist bereits erfolgt.

Was die Auswahl der geeignetsten Versuchspflanze betrifft, so hat Helmkampf keinen ganz bestimmten Hinweis dafür gegeben; er erwähnt nur, daß nach seinen und Maerckers Versuchen der Sommerweizen sehr brauchbar zu sein scheine.[3])

Ich analysierte den bei meinen Vegetationsversuchen benutzten russischen Sommerweizen (Ulka) in ausgereiftem Zustande. Wenn auch die Analyse der Pflanzen im Stadium der Blüte im allgemeinen ein schärferes Bild liefert, so sind doch auch ausgereifte Pflanzen ein für diesen Zweck ganz gutes, brauchbares Material; das ist schon aus den Versuchen Helmkampfs und besonders Atterbergs zu ersehen. Atterberg, der die Untersuchungsergebnisse der grünen und der ausgereiften Pflanzen verglich, fand deutlich erkennbare Unterschiede im Gehalte sowohl der grünen als auch der ausgereiften Pflanzen.[4])

Die Analyse, die sich auf die Bestimmung des Stickstoff- und Phosphorsäuregehaltes beschränkte, ergab folgende Resultate:

[1]) Mitteilungen aus dem landw. physiol. Laborat. der Universität Göttingen, Journ. f. Landw. IL, S. 145.

[2]) a. a. O. S. 147.

[3]) a. a. O. S. 168.

[4]) Jahresber. f. Agr. Chem. 1887, S. 164.

Tabelle XVI.

| Versuch No. | Art der Düngung: Chilesalpeter | Kalisalz | Superphosphat | Lufttrockene Substanz: Ertrag g Korn | Stroh | N % Korn | Stroh | $P_2O_5$ % Korn | Stroh | Absolut trockene Substanz (100° C.): Ertrag g Korn | Stroh | N % Korn | Stroh | $P_2O_5$ % Korn | Stroh |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| I | — | — | — | 11,12 | 27,26 | 2,97 | 1,20 | 0,90 | 0,09 | 9,71 | 24,60 | 3,40 | 1,32 | 1,03 | 0,10 |
| II | 1,416 | 0,708 | 1,888 | 14,91 | 38,80 | 2,99 | 1,10 | 0,98 | 0,12 | 12,92 | 35,64 | 3,45 | 1,19 | 1,13 | 0,13 |
| III | 1,416 | 0,708 | 0,944 | 15,15 | 35,66 | 3,15 | 1,08 | 0,95 | 0,10 | 13,12 | 32,82 | 3,63 | 1,17 | 1,09 | 0,11 |
| IV | 1,416 | 0,708 | — | 10,66 | 25,98 | 3,15 | 1,20 | 0,88 | 0,08 | 9,26 | 23,84 | 3,62 | 1,31 | 1,01 | 0,08 |
| V | 1,416 | 0,472 | 1,888 | 13,29 | 36,19 | 3,01 | 1,15 | 0,95 | 0,12 | 11,50 | 32,48 | 3,48 | 1,28 | 1,09 | 0,12 |
| VI | 1,416 | — | 1,888 | 15,33 | 38,38 | 2,96 | 1,12 | 1,00 | 0,15 | 13,30 | 34,85 | 3,41 | 1,23 | 1,15 | 0,16 |
| VII | 0,708 | 0,708 | 1,888 | 13,27 | 37,13 | 2,94 | 0,98 | 1,03 | 0,15 | 11,49 | 33,82 | 3,39 | 1,07 | 1,18 | 0,16 |
| VIII | — | 0,708 | 1,888 | 14,43 | 38,28 | 2,85 | 0,93 | 1,08 | 0,14 | 12,52 | 34,89 | 3,28 | 1,02 | 1,24 | 0,15 |

Tabelle XVII.

| Versuch No. | Art der Düngung: Chilesalpeter | Kalisalz | Superphosphat | Gebr. Kalk | Lufttrockene Substanz: Ertrag g Korn | Stroh | N % Korn | Stroh | $P_2O_5$ % Korn | Stroh | Absolut trockene Substanz (100° C.): Ertrag g Korn | Stroh | N % Korn | Stroh | $P_2O_5$ % Korn | Stroh |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| IX | — | — | — | 20 | 9,68 | 28,97 | 3.23 | 1,24 | 1,02 | 0,08 | 8,44 | 26,24 | 3,81 | 1,37 | 1,16 | 0,08 |
| X | — | — | 1,888 | 20 | 14,46 | 36,87 | 3,03 | 1,26 | 1,05 | 0,13 | 12,63 | 33,76 | 3,46 | 1,37 | 1,20 | 0,14 |
| XI | 1,416 | 0,708 | 1,888 | 20 | 14,11 | 41,22 | 3,16 | 1,32 | 1,10 | 0,15 | 12,23 | 37,42 | 3,64 | 1,45 | 1,26 | 0,16 |

Stutzer gibt als mittlere Menge für den Stickstoffgehalt des lufttrockenen Sommerweizens im Korn 1,95 %, im Stroh 0,56 % an.[1]) Meine auf ungedüngtem Boden gewachsenen Pflanzen (Versuch I) hatten einen viel höheren Stickstoffgehalt sowohl im Korn, als auch besonders im Stroh (Korn 2,97 %, Stroh 1,20 %). Wenn wir ferner die von mir erhaltenen Resultate mit denjenigen Helmkampfs vergleichen (Korn 2,55 %, Stroh

[1]) Landw. Kalender von O. Mentzel und A. v. Lengerke 1906, S. 95, 96.

0,58 %), so sehen wir, daß die auf dem Boden Samtschikis gewachsenen Pflanzen besonders im Stroh sehr reich an Stickstoff sind.

Für die Phosphorsäure führt Stutzer im Korn 0,85 %, im Stroh 0,20 % der lufttrockenen Substanz an. Die von mir gefundenen Zahlen nähern sich diesen Werten: ich fand (Versuch I ungedüngt) bezogen auf lufttrockene Substanz im Korn 0,90 %, im Stroh 0,09 % Phosphorsäure; bezogen auf absolut trockene Masse im Korn 1,03 %, im Stroh 0,10 %. Helmkampf erhielt höhere Werte, die er als Maximalzahlen ansieht, da der Boden sehr reich an Phosphorsäure war. Seine Untersuchungen ergaben im Korn und Stroh von ungedüngtem Boden 1,21 bezw. 0,29 % Phosphorsäure.

Der Vergleich der von mir ermittelten Werte mit den von Stutzer und Helmkampf gefundenen Zahlen zeigt, daß der auf dem Boden Samtschikis gewachsene Sommerweizen einen sehr hohen Stickstoffgehalt, aber nur einen mittleren Phosphorsäuregehalt hat, daß also der Boden Samtschikis wahrscheinlich der Stickstoffdüngung nicht bedarf. Ob demselben aber eine Phosphorsäuredüngung dienlich ist, das läßt sich aus den Ergebnissen der Untersuchung nicht ohne weiteres schließen.

Wenn man berücksichtigt, daß der Ertrag nicht nur durch die absolute Menge der Nährstoffe, sondern auch durch das Verhältnis der Menge der verschiedenen Nährstoffe beeinflußt wird, so ist zu vermuten, daß bei mittlerem Phosphorsäure- und gleichzeitig sehr hohem Stickstoffgehalte eine Phosphorsäuredüngung das Verhältnis von Phosphorsäure zu Stickstoff zu einem für die Pflanze günstigeren gestaltet und den Ertrag erhöhen wird. Weitere Schlüsse lassen die Zahlen des Versuchs I (ungedüngt) nicht zu.

Wenn man den Stickstoff- und den Phosphorsäure-Gehalt des Sommerweizens betrachtet, der auf den in verschiedener Weise gedüngten Flächen gewachsen ist, so schwanken die Werte dafür, wie aus der Tabelle XVI ersichtlich ist, zwar innerhalb ziemlich enger Grenzen; aber sie lassen doch gewisse Gesetzmäßigkeiten erkennen, die freilich in einer bestimmten Richtung verlaufen.

Der Stickstoffgehalt war meistens dort am geringsten, wo nicht mit Stickstoff, aber mit Phosphorsäure und Kali gedüngt war (Versuch VIII). Jedoch ist damit nicht ein entsprechend niedriger Ertrag verbunden. Der Phosphorsäuregehalt (Versuch I) war in denjenigen Fällen am geringsten, wo der Boden keine Phosphorsäuredüngung erhalten hatte und wo zugleich der Ertrag am niedrigsten war. Daraus dürfte hervorgehen, daß im Boden Samtschikis bei einem Überflusse an Stickstoff ein Mangel an Phosphorsäure vorhanden ist.

Nach den Tabellen XVI und XVII besteht außerdem zwischen dem Stickstoff- und dem Phosphorsäuregehalte ein gewisser Zusammenhang; je höher der Stickstoffgehalt, desto geringer ist der Phosphorsäuregehalt. Wir haben es hier mit derselben Erscheinung zu tun, welche schon zu

wiederholten Malen von Atterberg, Joulie, Maercker, Helmkampf beobachtet wurde. Es unterliegt keinem Zweifel, daß die Höhe des Ertrages nicht nur von der absoluten Menge der im Boden befindlichen und von der Pflanze aufgenommenen Nährstoffe, sondern auch von dem Verhältnis dieser Mengen abhängt. So zeigen die Versuche I, IV (Tab. XVI) und IX (Tab. XVII), d. h. die Versuche ohne Phosphorsäuredüngung, einen geringen Ertrag, obwohl bei diesen Versuchen der absolute Gehalt des Sommerweizens an Phosphorsäure nicht niedrig, sondern normal ist.[1]) Doch erhöht sich der Ertrag durch die dem Boden gegebene Phosphorsäuredüngung — wie es die Versuche II, III, V, VI, VII, VIII, X, XI (Tab. XVI und XVII) zeigen. Vergleicht man die Ergebnisse der Versuche IX und X (Tab. XVII), so sieht man, daß durch die Düngung des Bodens mit Phosphorsäure sich der Ertrag erhöht und zu gleicher Zeit die von dem Sommerweizen aufgenommene Menge Phosphorsäure steigt, daß aber dementsprechend der Stickstoffgehalt sinkt. Daraus erklärt sich die Tatsache, daß, obgleich der Sommerweizen auch aus dem ungedüngten Boden eine genügende Phosphorsäuremenge (Versuch I und IX) aufnimmt, eine Phosphorsäuredüngung die Ernte erhöht, indem sie ein günstigeres Verhältnis von Phosphorsäure zu Stickstoff herbeiführt.

Die folgende Tabelle XVIII zeigt die Schwankungen der Erträge bei verschiedenem Verhältnisse des Gehaltes der Sommerweizenpflanze an Phosphorsäure zu ihrem Gehalte an Stickstoff. — Es erwies sich für den Boden Samtschikis beim Sommerweizen das Verhältnis $N : P_2O_5$ wie 100 : 30 am günstigsten.

Tabelle XVIII.

| Versuch | Ertrag Absolut trockene Substanz (100° C.) g | | Verhältnis von N zu $P_2O_5$ Stickstoff = 100 | |
|---|---|---|---|---|
| No. | Korn | Stroh | Korn | Stroh |
| I | 9,71 | 24,60 | 30,29 | 7,50 |
| II | 12,92 | 35,64 | 32,75 | 10,91 |
| III | 13,12 | 32,82 | 30,02 | 9,23 |
| IV | 9,26 | 23,84 | 27,90 | 6,64 |
| V | 11,50 | 32,48 | 31,32 | 9,53 |
| VI | 13,50 | 34,85 | 33,72 | 13,41 |
| VII | 11,49 | 33,82 | 34,80 | 15,32 |
| VIII | 12,52 | 34,89 | 37,80 | 15,— |
| IX | 8,44 | 26,24 | 30,44 | 6,42 |
| X | 12,63 | 33,76 | 34,68 | 10,73 |
| XI | 12,23 | 37,42 | 34,61 | 11,38 |

[1]) Siehe S. 51 und 52.

Die Untersuchung der Körner und des Strohes (Versuch IX, X und XI), welche den Zweck hatte, über die Wirkung des Kalkes aufzuklären, zeigte eine starke Erhöhung des Stickstoff- und des Phosphorsäuregehaltes (Tabelle XVII S. 51). Der Vergleich des Versuches I (ungedüngt) mit IX (ungedüngt + Kalk) läßt deutlich erkennen, daß unter dem Einflusse des Kalkes die Tätigkeit des Bodens und die Ernährung der Pflanzen intensiver gewesen sind. Daß der Kalk wie eine indirekte Stickstoffdüngung wirkt, ist eine bekannte, durch P. Wagners Versuche erwiesene Tatsache.[1])

Die Wirkung des Kalkes auf Schwarzerde wurde von Professor Prjanischnikoff untersucht. Er beobachtete, daß durch den Kalk die Nitrifikation erhöht und die Menge des Nitratstickstoffes in der Schwarzerde wesentlich vergrößert wird.[2])

Um die Wirkung des Kalkes auf die Löslichkeit der Phosphorsäure im Boden festzustellen, bestimmte Prjanischnikoff auch die in einprozentiger Salzsäure lösliche Phosphorsäure des Bodens, aber er erhielt keine genügend klaren Resultate. Nach meinen Versuchen I und IX, II und XI zeigt beim Kalken des Bodens der Ertrag des Sommerweizens einen höheren Phosphorsäuregehalt und der Kalk hat also eine indirekte Wirkung nicht nur auf den Stickstoff, sondern auch auf die Phosphorsäure des Bodens ausgeübt. Aber der Ertrag ist dadurch nicht erhöht; dies läßt sich ebenfalls durch das ungünstige Verhältnis des Gehaltes an Stickstoff zu dem Gehalte an Phosphorsäure in den Sommerweizenpflanzen erklären. Da die Kalkdüngung des Bodens die Aufnahme des Stickstoffs durch die Pflanzen mehr erhöht hat, als die der Phosphorsäure (Tab. XIX), so wird auch das Verhältnis dieser Stoffe zueinander durch das Kalken noch ungünstiger, als es bei den Pflanzen

Tabelle XIX.

| Versuch | Art der Düngung g | | | | Absolut trockene Substanz (100° C.) | | | | | | Verhältnis von N zu $P_2O_5$, Stickstoffmenge = 100. | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | Ertrag g | | N % | | $P_2O_5$ % | | | |
| No. | Chilesalpeter | Kalisalz | Superphosphat | Gebr. Kalk | Korn | Stroh | Korn | Stroh | Korn | Stroh | Korn | Stroh |
| I | — | — | — | — | 9,71 | 24,60 | 3,40 | 1,32 | 1,03 | 0,10[3]) | 30,29 | 7,50 |
| XI | — | — | — | 20 | 8,44 | 26,24 | 3,81 | 1,37 | 1,16 | 0,08[3]) | 30,44 | 6,42 |
| II | 1,416 | 0,708 | 1,888 | — | 12,92 | 35,64 | 3,45 | 1,19 | 1,13 | 0,13 | 32,75 | 10,91 |
| IX | 1.416 | 0,708 | 1,888 | 20 | 12,23 | 37,42 | 3,64 | 1,45 | 1,26 | 0,16 | 34,61 | 11,38 |

[1]) P. Wagner, Die Stickstoffdüngung der landw. Kulturpflanzen 1892, S. 217. 218.

[2]) Journal für experiment. Agronomie VI, 1903 (russisch). Resultate einiger Kalkdüngungsversuche S. 262. 268.

[3]) Der Unterschied in dem Phosphorsäuregehalte des Strohes in den Versuchen I und IX kommt nicht in Betracht, da er die Fehlergrenzen nicht übersteigt.

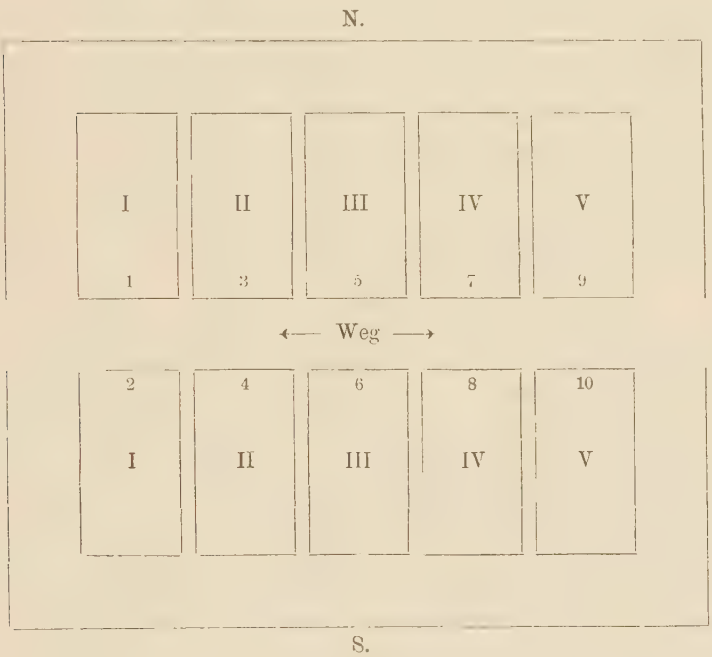
der Fall ist, die auf nicht gekalktem Boden (Tab. XIX, Versuche I und IX) gewachsen sind.

Die von mir erhaltenen Resultate der Planzenanalyse bestätigen die Ergebnisse des Vegetationsversuches und tragen zur Erklärung der Wirkung der verschiedenen Düngemittel auf den Ertrag bei. Immerhin vermögen diese Ergebnisse das Düngerbedürfnis des Bodens nicht genau festzustellen.

## E. Der Feldversuch.

Beim Feldversuche wurde nur mit Phosphorsäure gedüngt; dies hatte den Zweck: a) darüber Aufklärung zu verschaffen, welche Menge der

Plan des Versuchsfeldes.




Phosphorsäure für die Erzielung des Höchstertrages dem Boden zuzuführen ist, — Halbdüngung, wie bei den Gefäßversuchen, oder Volldüngung; b) festzustellen, in welcher Form der Phosphorsäuredünger die günstigste Wirkung auf den Ertrag des Sommerweizens auf dem Boden Samtschikis ausübt — Superphosphat oder Thomasmehl. Zur Beantwortung dieser Fragen wurden Feldversuche in folgender Weise angestellt. Auf einem Felde mit für Samtschiki typischer Schwarzerde wurde eine vollkommen ebene und, was die Bodenbeschaffenheit betrifft, anscheinend gleichartige Fläche ausgewählt. Dieses Feld hatte zum letzten Male im Frühjahre 1898 37 500 kg Stall-

dünger erhalten; dann folgten: 1899 Winterweizen, 1900 Hafer, 1901 Brache, 1902 Winterweizen; 1903 wurden die Feldversuche ausgeführt.

Die ganze für die Versuche bestimmte Fläche wurde gleichmäßig auf 22 cm Tiefe gepflügt, dann geegget und mit dem Exstirpator sorgfältig von Unkraut gereinigt. Der so vorbereitete Acker wurde in 10 Teilstücke, je zu 200 qm, eingeteilt. Von diesen Teilstücken (Parzellen) lagen je 5 zu beiden Seiten des Weges. Zwischen je zwei Parzellen blieb ein Streifen von 1 m Breite liegen (siehe Plan S. 55).

Die zwei einander gegenüberliegenden, durch den Weg getrennten Teilstücke wurden in derselben Weise gedüngt, waren also Parallelparzellen. Als Düngemittel wurde Superphosphat mit 20 % wasserlöslicher Phosphorsäure und Thomasmehl mit 17 % Gesamt- und 15 % citronensäurelöslicher Phosphorsäure verwendet.

Um die Wirkung der Phosphorsäure in Form von Superphosphat und in Form von Thomasmehl vergleichen zu können, wurden diese Düngemittel in solchen Mengen angewendet, daß die Mengen der wasserlöslichen Phosphorsäure des Superphosphats und der citronensäurelöslichen Phosphorsäure des Thomasmehls gleich waren. Das Thomasmehl wurde 14 Tage, das Superphosphat 2 Tage vor der Saat ausgestreut; sofort nach dem Ausstreuen wurde das Feld mit einer tiefgehenden Egge bearbeitet. Die Verteilung und die Menge der Düngemittel waren folgende:

Tabelle XX.

| Parzelle | Superphosphat kg | | | | Thomasmehl kg | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Pro Parzelle = 200 qm | | Pro Hektar | | Pro Parzelle = 200 qm | | Pro Hektar | |
| No. | Düngung | $P_2O_5$ | Düngung | $P_2O_5$ | Düngung | $P_2O_5$ | Düngung | $P_2O_5$ |
| I | — | — | — | — | — | — | — | — |
| II | 6 | 1,2 | 300 | 60 | — | — | — | — |
| III | — | — | — | — | 8 | 1,2 | 400 | 60 |
| IV | 3 | 0,6 | 150 | 30 | — | — | — | — |
| V | — | — | — | — | 4 | 0,6 | 200 | 30 |

Die Versuchspflanze war wieder Sommerweizen, und zwar die schon genannte, in Rußland sehr bekannte Sorte „Ulka".

Das Säen wurde mit einer Handdrillmaschine (von Rudolf Sack in Plagwitz) ausgeführt. Die Saattiefe betrug 4 cm. Die Reihenweite war groß, 15 cm, um den Weizen hacken zu können. Gesäet wurden 160 kg auf 1 ha. Die Bestellung geschah am 10. April 1903 bei günstigem Wetter und mäßig feuchtem Boden. In den ersten drei Wochen der Vegetation war das Wetter ziemlich kalt und rauh, wodurch anfangs das Wachstum

der jungen Pflanzen gehemmt wurde. Vom 5. Mai an stellte sich warmes Wetter ein und die Entwicklung der Pflanzen ging rasch und kräftig vor sich. Die Niederschläge fielen gleichmäßig. Gegen Ende der Vegetation wurde das Wetter trockner und blieb so während der Erntezeit. Am 28. Juli wurde der Sommerweizen mit Sicheln geschnitten, sofort in Garben gebunden und diese, die Ähren nach oben, auf den Parzellen zum Trocknen aufgestellt. Nach 3 warmen und trockenen Tagen wurde der Weizen in die Scheune gebracht. Die dazu benutzten Wagen waren mit Segeltuch ausgeschlagen, um Verluste an Körnern durch das bei der Fahrt hervorgerufene Schütteln zu verhüten. Des vollkommeneren Austrocknens wegen blieb der Weizen noch 5 Tage in der Scheune stehen, um dann gedroschen zu werden. Vor dem Dreschen wurde der Ertrag jeder Parzelle gewogen. Das Gewicht stellte das der Garben (Körner + Stroh + Spreu) + Strohseile dar. Das Gewicht der Seile jeder Parzelle wurde außerdem ermittelt. Das Dreschen erfolgte mittelst einer kleinen Handdreschmaschine, die von 4 Arbeitern bedient wurde. Man traf alle Maßregeln, um dem Verlust von Körnern usw. möglichst vorzubeugen. Stroh und Spreu wurden, um alle Körner zu gewinnen, 2 mal durch die Dreschmaschine getrieben; auch beim Reinigen der Körner wurde mit Vorsicht verfahren. Danach wurden der Körner- und der Strohertrag gewogen.

Auf diese Weise erhielt ich von jeder Parzelle a) das Gesamtgewicht des Ertrages (Garben) + Garbenseile, b) das Gewicht der Seile, c) das Gewicht des Kornes, d) das Gewicht des Strohes.

P. Wagner schlägt vor, um die Erträge bei Feldversuchen zu ermitteln, nicht den ganzen Ertrag jeder Parzelle zu dreschen und zu wägen, sondern von jeder Parzelle eine Mittelprobe von ca. 5 kg zu entnehmen, in dieser mit der Hand Körner, Stroh und Spreu voneinander zu trennen, zu wiegen und dieses Gewicht dem vorher für jede Parzelle festgestellten Gesamtgewichte der Garben zu Grunde zu legen.[1])

Dieses Verfahren kann jedoch nicht als genau bezeichnet werden. Besonders schwierig ist die Entnahme richtiger Durchschnittsproben. Kleine Abweichungen hierbei können bei der Berechnung auf das Totalgewicht große Fehler hervorrufen. Grosse erhielt bei seinen Felddüngungsversuchen auf dem Versuchsfelde Oberholz des Landwirtschaftlichen Institutes der Universität (Leipzig) bei Verarbeitung der Gesamternte jeder Parzelle einerseits als auch der Durchschnittsproben andrerseits folgende Ergebnisse.

Der Mittelertrag der ungedüngten Parzellen nach beiden Gewichtsermittelungen ist gleich 100 gesetzt:

[1]) P. Wagner, Düngungsfragen. Heft IV, S. 22.

Tabelle XXI.[1])

| Verhältniszahlen | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| des Gesamtertrages | | | der Proben | | |
| Körner | Stroh | Spreu | Körner | Stroh | Spreu |
| 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 148,3 | 111,1 | 116,7 | 115,8 | 107,9 | 106,4 |
| 150,5 | 111,1 | 122,2 | 123,8 | 114,5 | 115,3 |
| 153,8 | 108,9 | 119,4 | 127,4 | 118,3 | 112,2 |

Diese Resultate veranlaßten auch mich, Maerckers Rat[2]) zu befolgen und eine, wenn auch umständliche, so doch genauere und direkte Bestimmung des Ertrages durch Wägen des Gesamtertrages auszuführen.

**Die Ergebnisse des Felddüngungsversuches.**

Tabelle XXII.

| Versuch No. | Düngung pro Parzelle kg | | | Parzelle No. | Pro Parzelle (200 qm), kg | | | | | | Düngung pro Hektar kg | | | Pro Hektar, kg | | | | Verhältniszahlen | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | einzeln | | Durchschnitt | | + gegen ohne $P_2O_5$ | | | | | Durchschnitt | | + gegen ohne $P_2O_5$ | | | |
| | Superphosphat | Thomasmehl | $P_2O_5$ | | Korn | Stroh | Korn | Stroh | Korn | Stroh | Superphosphat | Thomasmehl | $P_2O_5$ | Korn | Stroh | Korn | Stroh | Korn | Stroh |
| I | — | — | — | 1 | 19,11 | 87,81 | 19,96 | 89,04 | — | — | — | — | — | 998 | 4452 | — | — | 100 | 100 |
| | | | | 2 | 20,81 | 90,27 | | | | | | | | | | | | | |
| II | 6 | — | 1,2 | 3 | 25,90 | 92,44 | 25,00 | 94,44 | 5,04 | 5,40 | 300 | — | 60 | 1250 | 4722 | 252 | 270 | 125 | 106 |
| | | | | 4 | 24,10 | 96,44 | | | | | | | | | | | | | |
| III | — | 8 | 1,2 | 5 | 25,48 | 91,20 | 24,46 | 90,30 | 4,50 | 1,26 | — | 400 | 60 | 1223 | 4515 | 225 | 63 | 122 | 101 |
| | | | | 6 | 23,44 | 89,40 | | | | | | | | | | | | | |
| IV | 3 | — | 0,6 | 7 | 29,13 | 102,53 | 30,76 | 104,34 | 10,80 | 15,30 | 150 | — | 30 | 1538 | 5217 | 540 | 765 | 154 | 117 |
| | | | | 8 | 32,39 | 106,15 | | | | | | | | | | | | | |
| V | — | 4 | 0,6 | 9 | 26,80 | 88,93 | 27,50 | 89,94 | 7,54 | 0,90 | — | 200 | 30 | 1375 | 4497 | 377 | 45 | 137 | 101 |
| | | | | 10 | 28,20 | 90,95 | | | | | | | | | | | | | |

[1]) Dr. Grosse, Versuche über die Stickstoffwirkung des von Krottnaurerschen organischen Düngers, In.-Diss., Leipzig 1902, S. 19, Tabelle VI.

[2]) Maercker, Jahrbuch der D. L. G. 1899, S. 465.

Die Erträge der Parallelparzellen stimmen meistens gut überein. Der größte Unterschied — 3,26 kg Korn — findet sich bei den Parallelparzellen 7 u. 8 (Versuch IV). Doch übertrifft der Ertrag der Parzelle 7 mit nur 29,13 kg Korn die Erträge aller anderen Parzellen, bestätigt also ebenso wie die Parzelle 8, daß der Versuch IV den höchsten Ertrag brachte. Der geringere Ertrag der Parzellen 3 und 4 (Versuch II) gegenüber 7 und 8 (Versuch IV), trotzdem bei II die doppelte Menge von Phosphorsäure gegeben war, läßt sich nicht ohne weiteres erklären; vielleicht hat die große Menge der Phosphorsäure bei Versuch II den Ertrag vermindert.

Aus den Versuchsergebnissen geht hervor, daß der Boden für eine Phosphorsäuredüngung dankbar gewesen ist und daß der Feldversuch die Befunde der Boden- und der Pflanzen-Aanalyse sowie der in Gefäßen ausgeführten Versuche bestätigt hat. Ein durch die Düngung erzielter Mehrertrag von 540 kg Korn pro Hektar muß als sehr bedeutend bezeichnet werden.

Aus dem Vergleiche der Resultate der Versuche II und IV mit denjenigen von III und V ersieht man, daß dieselbe Menge Phosphorsäure in Form von Superphosphat den Ertrag mehr gesteigert hat, als in Form von Thomasmehl. Denn bei Versuch II wurde gegenüber III ein Mehr erzielt: Pro Parzelle an Körnern von 0,54 kg, an Stroh von 4,14 kg, also pro Hektar: an Körnern 27 kg, an Stroh 207 kg. Noch größer ist der Unterschied bei den Versuchen IV und V. Der Ertrag bei Versuch IV (0,6 kg Phosphorsäure im Superphosphat) hat gegenüber V (dieselbe Menge Phosphorsäure im Thomasmehl) ein Plus geliefert pro Parzelle: an Körnern 3,26 kg, an Stroh 14,4 kg; pro Hektar: an Körnern 163 kg, an Stroh 720 kg.

Die halbe Menge der Phosphorsäure, d. h. 0,6 kg $P_2O_5$ pro Parzelle oder 30 kg $P_2O_5$ pro Hektar, ergab höhere Erträge als die doppelte Menge, d. h. 1,2 kg $P_2O_5$ pro Parzelle oder 60 kg $P_2O_5$ pro Hektar. Bei Thomasmehl war dies Mehr im ersten Falle: Körner 3,04 kg, Stroh 0,36 kg oder pro Hektar: Körner 152 kg, Stroh 18 kg. Bei Superphosphat wurde bei halber Menge im Gegensatze zur ganzen Menge ein Mehrertrag erzielt: an Körnern von 5,76 kg, Stroh 9,90 kg, pro Hektar: an Körnern von 288 kg, an Stroh 495 kg. Daraus ergibt sich, daß die Schwarzerde Samtschikis, soweit die Phosphorsäure in Betracht kommt, zur Erzielung des Höchstertrages an Sommerweizen einer Menge von 60 kg $P_2O_5$ pro Hektar nicht bedurft, sondern daß die Hälfte dieser Menge nicht nur ausgereicht, sondern sogar einen höheren Ertrag geliefert hat.

## V. Die Rentabilität der Düngung mit Phosphorsäure.

Für die Landwirtschaft ist die Frage der Rentabilität bestimmter Maßnahmen, also auch bei der Düngung, am wichtigsten. Wenn es sich herausstellt, daß eine bestimmte Düngung den Ertrag erhöht, so ist damit noch nicht gesagt, daß sie Gewinn bringt. Nicht selten kommt es vor, daß trotz der Wirkung der Düngung sich ein Minus für den Geldbetrag herausstellt, weil die Ausgaben für die Düngung größer sind, als der Geldwert des Mehrertrages.

Bei der folgenden Rentabilitäts-Berechnung sind die russischen Rubel und Kopeken in Mark und Pfennige umgerechnet, wie auch die russischen Pfunde in Kilogramme. Die Preise für die Düngemittel sind nach den Preislisten des landwirtschaftlichen Syndikates für Südrußland berechnet, von dem die Düngemittel auch bezogen wurden.

Superphosphat mit 20% wasserl. $P_2O_5$; 1 Pud zu 72 Kopeken.
Thomasmehl mit 15% citratl. $P_2O_5$, 1 Pud zu 29 Kopeken.

Das ist in Mark:

Superphosphat (20% wasserl. $P_2O_5$) 100 kg: 9,44 M + 2,39 M. Transportkosten = 11,83 M.

Thomasmehl (15% citronensäurel. $P_2O_5$) 100 kg: 3,85 M + 2,39 M. Transportkosten = 6,24 M.

Für den Sommerweizen (Korn und Stroh) sind die mittleren Marktpreise für Südwest-Rußland angenommen. Zu diesem Preise wurde auch der größte Teil des in Samtschiki geernteten Sommerweizens (Korn) verkauft:

Korn . . . . { 1 Pud = 80 Kopeken
100 kg = 10,50 M

Stroh . . . . { 1 Pud = 4 Kopeken
100 kg = 0,52 M.

Diese Preise sind der Berechnung in Tabelle XX zu Grunde gelegt:

(Siehe Tab. XXIII S. 61.)

Die Tabelle umfaßt:

a) die Ausgaben für die Düngung,

b) die Roherträge, die von den in verschiedener Weise gedüngten Feldern erhalten sind,

c) den Gewinn oder Verlust der Düngung,

d) das Verhältnis des Reinertrages der gedüngten im Vergleich mit der ungedüngten Fläche.

Die Rentabilität der Verwendung von 30 kg $P_2O_5$ auf 1 ha steht außer allem Zweifel. Besonders gut haben sich 30 kg $P_2O_5$ in Form von Superphosphat rentiert, indem dabei ein Gewinn von 42,93 M pro Hektar

Tabelle XXIII.

Rentabilitätsberechnung für 1 ha.

| Versuch No. | Düngung Art | Düngung kg | Ausgaben für Düngemittel in Mark: Preis | Ausgaben für Düngemittel in Mark: Transportkosten | Ausgaben für Düngemittel in Mark: Zusammen | Rohertrag in kg: Korn | Rohertrag in kg: Stroh | Rohertrag in Mark: Korn | Rohertrag in Mark: Stroh | Rohertrag in Mark: Zusammen | Reingewinn in Mark | Gewinn oder Verlust gegen ungedüngt, ± in: Mark | Gewinn oder Verlust gegen ungedüngt, ± in: Verhältnis |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| I | — | — | — | — | — | 998 | 4452 | 104,79 | 23,15 | 127,94 | 127,94 | ± | 100 |
| II | Superphosphat | 300 | 28,32 | 7,16 | 35,48 | 1250 | 4722 | 131,25 | 24,55 | 155,80 | 120,32 | — 7,62 | 94,0 |
| III | Thomasmehl . | 400 | 15,40 | 9,56 | 24,96 | 1223 | 4515 | 128,41 | 23,47 | 151,88 | 126,92 | — 1,02 | 99,2 |
| IV | Superphosphat | 150 | 14,16 | 3,58 | 17,74 | 1538 | 5217 | 161,49 | 27,12 | 188,61 | 170,87 | + 42,93 | 133,5 |
| V | Thomasmehl . | 200 | 7,70 | 4,78 | 12,48 | 1375 | 4497 | 144,37 | 23,38 | 167,75 | 155,27 | + 27,33 | 121,3 |

erzielt ist, wogegen dieselbe Menge Phosphorsäure in Form von Thomasmehl einen Gewinn von nur 27,33 M gebracht hat. 30 kg $P_2O_5$ auf 1 ha im Superphosphat haben also eine um 15,60 M pro Hektar höhere Rente geliefert als im Thomasmehl.

---

Es braucht wohl kaum darauf hingewiesen zu werden, daß die Resultate der hier beschriebenen, nur während eines Jahres ausgeführten Felddüngungsversuche nicht ausreichen, um die Wirkung der Phosphorsäuredüngung in der Wirtschaft Samtschiki nach allen Seiten klarzustellen. Dennoch können wir auf Grund des nach verschiedenen Methoden festgestellten Düngerbedürfnisses des Bodens Samtschikis mit Sicherheit behaupten:

a) daß die Schwarzerde von Samtschiki für Sommerweizen der Phosphorsäuredüngung bedarf und

b) daß diese Düngung in Form von Superphosphat in Mengen von 30 kg $P_2O_5$ pro Hektar rentabel gewesen ist.

## VI. Untersuchungsmethoden.

Mechanische Bodenanalyse. Es wurden von jedem Boden in lufttrocknem Zustande 2 Proben, jede von 500 g, abgewogen und nacheinander durch Siebe von 5 mm resp. 3 mm Lochweite gebracht. Von dem durchgesiebten Material wurden wieder 50 g abgewogen, mit der zehnfachen

Menge Wasser in einer Porzellanschale unter ständigem Umrühren mit einem Glasstabe aufgekocht und durch ein Sieb von 2 mm Lochweite gegeben und dem Schlämmprozesse im Kühnschen Zylinder unterworfen. Nach beendigter Abschlämmung wurde der Rückstand aus dem Schlämmzylinder in eine Schale gebracht, bei 100° C. getrocknet und durch Sieben mittels eines 1 und $^1/_2$ Millimeter-Siebes in 3 Sandsorten, Perl-, Grob- und Feinsand, getrennt und deren Mengen durch Wägen ermittelt.

Der Gehalt an hygroskopischem Wasser wurde durch Trocknen von 5 g Boden im Trockenschranke bei 100° C. bis zum konstanten Gewicht bestimmt. Der Glühverlust wurde durch weiteres vorsichtiges Glühen der schon bei der Bestimmung des hygroskopischen Wassers verwendeten Proben gefunden.

Die Kapillarität des Bodens wurde auf folgende Weise ermittelt: zwei Glasröhren von 2 cm lichter Weite, die eine 75 cm, die andere 25 cm lang, wurden mit den glatt abgeschliffenen Enden, das kürzere oben, das längere unten, aufeinander gesetzt und deren Schlifflächen durch Gummiringe aufeinander gepreßt, die in geeigneter Weise seitlich angebracht waren. Nachdem das untere Ende der so aus zwei Teilen bestehenden Glasröhre mit Leinwand zugebunden war, wurde die Röhre unter wiederholtem, gelinden Aufklopfen nahezu mit lufttrockenem Boden angefüllt. Das mit der Leinwand versehene Rohr-Ende wurde darauf in ein Gefäß mit Wasser getaucht und an einer Centimeterskala die Höhe abgelesen, bis zu welcher das Wasser vom Boden aufgesaugt worden war, unter gleichzeitiger Feststellung der Zeitdauer des Aufsaugens.

Die Bestimmung der Wasserkapazität fand unter Verwendung desselben Apparates statt, indem der Behälter, in welchen vorher die Röhre eintauchte, entfernt wurde. Aus einem oberhalb der Röhre angebrachten, mit Hahn versehenen Gefäße ließ man Wasser solange tropfenweise zulaufen, bis an dem unteren Ende der Röhre das Wasser abzutropfen begann. Dann wurde die weitere Wasserzufuhr unterbrochen, darauf, nachdem das überschüssige Wasser unten vollständig abgeflossen war, die Kautschukverbindung zwischen den Röhren gelöst und an dieser Stelle Bodenproben entnommen. Dieselben wurden bei 100° C. bis zum konstanten Gewichte getrocknet, gewogen und hieraus unter Berücksichtigung des Gehaltes an hygroskopischenm Wasser die wasserfassende Kraft des Bodens berechnet.

Bestimmung des Nährstoffgehaltes im Boden. Der Gehalt an Gesamtstickstoff wurde nach Kjeldahl bestimmt. Zur Ermittelung des Gehaltes des Bodens an Phosphorsäure, Kali und Kalk wurde der salzsaure Bodenauszug benutzt. 250 g Boden wurden mit 500 ccm 10prozent. Salzsäure übergossen, zwei Stunden lang gekocht und darauf 24 Stunden stehen gelassen; nach dem Abfiltrieren wurde der auf dem Filter verbleibende Rückstand solange mit heißem Wasser ausgewaschen, bis das Waschwasser keine Chlorreaktion mehr ergab. Das Filtrat wurde unter Zusatz von Salpeter-

säure mehrmals zur Trockene eingedampft und mit salzsäurehaltigem Wasser aufgenommen, und die abgeschiedene Kieselsäure abfiltriert. Das Filtrat wurde in einen Kolben gebracht und auf 500 ccm aufgefüllt.

Von der kieselsäurefreien salzsauren Lösung wurden 100 ccm (gleich 50 g Boden) mehrmals zur Trockene eingedampft und mit Salpetersäure aufgenommen; in der salpetersauren Lösung wurde die Phosphorsäure mittelst molybdänsauren Ammons gefällt, eine halbe Stunde bei 75° C. stehen gelassen, filtriert, der Niederschlag ausgewaschen und in $2^1/_2$ prozent. Ammoniaklösung wieder gelöst; diese Lösung wurde mit Salzsäure neutralisiert, mit Magnesiamixtur unter Umrühren tropfenweise versetzt, ausgerührt, der Niederschlag abfiltriert, geglüht und als pyrosphosphorsaure Magnesia gewogen.

Zur Bestimmung des Kalis wurden 100 ccm der kieselsäurefreien salzsauren Lösung schwach ammoniakalisch, sodann wieder salzsauer gemacht, mit Barytwasser in geringem Überschusse bei Siedhitze versetzt, der vorhandene Niederschlag nach dem Absetzen abfiltriert und ausgewaschen. In dem Filtrate wurde das überschüssige Baryum durch Ammoniak und kohlensaures Ammon ausgefällt und das Filtrat zwecks Verjagung der Ammonsalze in einer Platinschale eingedampft und erhitzt. Der Rückstand wurde mit heißem Wasser und chemisch-reiner Oxalsäure aufgenommen, eingedampft, vorsichtig geglüht, wieder mit heißem Wasser aufgenommen und filtriert. Das Filtrat wurde mit etwas Salzsäure angesäuert, eingedampft und der Rückstand geglüht, dann wieder gelöst, mit einer genügenden Menge Platinchlorid versetzt und eingedampft, der Rückstand mit wenig Wasser angefeuchtet und mit absolutem Alkohol übergossen, einige Stunden stehen gelassen, darauf filtriert, mit Alkohol ausgewaschen, getrocknet und als Kaliumplatinchlorid gewogen.

Zur Bestimmung des Kalkes wurden 100 ccm der kieselsäurefreien salzsauren Lösung mit Natriumkarbonat neutralisiert, erhitzt und der mit einem Überschuß von essigsaurem Natrium in der Siedhitze gefällte Niederschlag abfiltriert. Das Filtrat wurde weiterhin zum Kochen erhitzt, neutralisiert und mit oxalsaurem Ammon versetzt, der Niederschlag abfiltriert, ausgewaschen, geglüht und als Calciumoxyd gewogen.

Düngemittel. Chilesalpeter. Der Stickstoffgehalt wurde nach der Reduktionsmethode ermittelt. 5 g Salpeter wurden im Wasser gelöst, die Lösung mit Wasser auf 500 ccm aufgefüllt, gut durchgeschüttelt und davon 50 ccm (= 0,5 g des Nitrates) in den Destillierkolben gebracht. Nachdem 20 ccm $\frac{n}{2}$ HCl in die Vorlegeflasche pipettiert und diese mit dem Kühler verbunden, wurden in den Destillierkolben noch je 8 g Zink- und Eisenpulver und eine Stange (ca. 15 g) Kalihydrat gegeben, der Destillierkolben schnell mit dem Kühler und der Vorlegeflasche verbunden und der Apparat 10 Stunden lang stehen gelassen. Hierauf wurde zunächst bei kleiner Flamme, schließlich unter stärkerem Erhitzen das entwickelte Ammoniak in

die Vorlegeflasche überdestilliert. Der Säureüberschuß in der Vorlegeflasche wurde mit $^1/_4$ Normal-Ammoniaklösung $\left(\frac{n}{4}\ NH_3\right)$ bestimmt und daraus die überdestillierte Stickstoffmenge berechnet.

Superphosphat. Die Bestimmung der wasserlöslichen Phosphorsäure im Superphosphat erfolgte nach der Ammoniummolybdat-Methode. 20 g des Superphosphats wurden in einer Reibschale mit Wasser aufgeschlämmt, mit dem Pistill leicht zerdrückt, in eine Literflasche gespült, sofort bis zur Marke aufgefüllt, zwei Stunden unter häufigem Umschütteln bei Zimmertemperatur digeriert und sodann abfiltriert. 25 ccm des Filtrates (= 0,5 g des Superphosphates) pipettiert, wurden mit Salpetersäure angesäuert, verdampft, wieder mit Salpetersäure aufgenommen, filtriert, das Filter gut ausgewaschen und das Filtrat mit 100 ccm Molybdänlösung versetzt, auf ca. 70° erwärmt und nach dem Erkalten filtriert. Hierauf wurde der Niederschlag mit 1% Salpetersäure ausgewaschen und vorsichtig in 2% Ammoniak gelöst. Die ammoniakalische Lösung wurde unter beständigem Rühren tropfenweise mit Magnesiamixtur versetzt und 2 Stunden stehen gelassen. Der Niederschlag von phosphorsaurer Ammoniakmagnesia wurde auf ein aschenfreies Filter gebracht, mit 2% Ammoniakwasser ausgewaschen, getrocknet, geglüht und gewogen. Die Phosphorsäure wurde alsdann aus dem Gewichte der pyrophosphorsauren Magnesia durch Multiplikation mit 0,64 berechnet.

Thomasmehl. In einen $^1/_2$ l Maßkolben wurden zu 5 ccm absolutem Alkohol 5 g Thomasmehl gebracht und der Kolben mit 2% Citronensäurelösung bis zur Marke aufgefüllt. Der Kolben wurde gut verschlossen, 30 Minuten lang ausgeschüttelt und die Lösung sofort filtriert. In 50 ccm Filtrates wurde die Phosphorsäure nach Ammoniummolybdat-Methode bestimmt.[1]) Die Gesamtphosphorsäure des Thomasmehles wurde nach Verbrennen und $^1/_2$ stündiger Aufwirkung der Säure ebenfalls nach Ammoniummolybdat-Methode bestimmt.

Körner und Stroh des Weizens. Der Gesamtstickstoff wurde nach Kjeldahls Methode ermittelt.

Die Ermittelung des Gehaltes an Phosphorsäure erfolgte in der Weise, daß 5 g Körner oder 25 g Stroh nach vorheriger Zerkleinerung vorsichtig verascht, die kohligen Reste mit einem Pistill zerrieben, schwach angefeuchtet, getrocknet und vollkommen verascht wurden. Die Asche wurde mit einem Gemische von konzentrierter Salpeter- und Salzsäure übergossen, einige Zeit bei Siedhitze digeriert und dann zur Trockene eingedampft. Der Rückstand wurde mehrmals mit salzsäurehaltigem Wasser aufgenommen, abfiltriert und gut ausgewaschen. Das kieselsäurefreie Filtrat wurde eingedampft, nochmals mit Salzsäure aufgenommen, abfiltriert, wieder ein-

[1]) Wagner, Chem. Zeitung 1894, S. 1153.

gedampft, mit Salpetersäure versetzt und darin die Phosphorsäure nach der Molybdänmethode bestimmt.

Der Gehalt der lufttrockenen Pflanzenteile an Trockenmasse wurde durch Trocknen von 5 g der fein zerkleinerten Körner oder des Strohes im Trockenschranke bei 100—105° C. bis zum konstanten Gewichte festgestellt.

---

Es ist mir eine angenehme Pflicht, meinem hochverehrten Lehrer, Herrn Geheimen Hofrat Prof. Dr. Kirchner, welcher auch die Anregung zu dieser Arbeit gegeben hat, für das liebenswürdige Entgegenkommen und die höchst belehrende Unterstützung durch Rat und Tat meinen aufrichtigsten Dank auszusprechen.

---

# Lebenslauf.

Ich, Alexander von Ugrimoff, Sohn des Iwan von Ugrimoff, wurde am 22. Dezember 1874 in Moskau geboren. Vom Jahre 1884 an besuchte ich dort ein klassisches Privatgymnasium und vom Jahre 1887 das Moskauer klassische III. Staatsgymnasium, an dem ich 6 Jahre später das Reifezeugnis erlangte.

Im Herbste desselben Jahres ging ich zur Universität Moskau und hörte daselbst: Allgemeine Geschichte bei den Professoren Guerrier, Winogradoff; Russische Geschichte bei Professor Klutchewsky; Philosophie bei den Professoren Fürst Trubetzkoi, Lopatin. Meine schriftliche Arbeit, die ich im Jahre 1897 der Fakultät einreichte, behandelte: „Die Entwicklung des Zunftwesens vom XIV. bis XVI. Jahrhundert." Im Frühjahre 1898 erhielt ich nach dem vor der Staatsprüfungskommission bestandenem Examen das Diplom erster Stufe und wurde von der Fakultät aufgefordert, das Studium zum Zwecke des späteren Eintrittes in die akademische Karriere fortzusetzen. Im Herbste 1898 ging ich nach Deutschland, um mich dem Studium der Landwirtschaft zu widmen. Ich bezog die Universität Leipzig und hörte die Vorlesungen der Herren Professoren Beckmann, Kirchner, Marschall, Pfeffer und arbeitete im chemischen Laboratorium des Herrn Professors Ostwald. Krankheitshalber mußte ich im darauffolgenden Sommersemester das Studium aussetzen, um erst im Wintersemester die Arbeit an der Universität Freiburg i. Br. wieder aufzunehmen. Dort blieb ich zwei Semester; ich hörte die Vorlesungen der Herren Professoren Oltmanns, Weismann, des Herrn Privatdozenten Autenrieth und arbeitete im chemischen Laboratorium unter Leitung der Herren Professoren Claus und Gattermann.

Im Herbste 1900 nach Leipzig zurückgekehrt, studierte ich dort weitere 5 Semester; 4 Semester im Laufe der Jahre 1900—1902 und 1 Semester im Winter 1904—1905; ich hörte die Vorlesungen der Herren Professoren Bücher, Kirchner, A. Fischer, M. Fischer, Stieda, Strecker, arbeitete im landwirtschaftlichen Laboratorium des Herrn Professors Kirchner und im botanischen Praktikum bei Herrn Professor Pfeffer.

Vom Herbste 1902 ab absolvierte ich meine Militärzeit in Rußland, wo ich auch das Jahr 1903—1904 teils auf meinem Gute, teils in Moskau verlebte und mich mit den mit der vorliegenden Abhandlung im Zusammenhange stehenden landwirtschaftlichen Versuchen und mit der Zusammenstellung der nötigen russischen Literatur beschäftigte. Im Winter 1904—1905 kehrte ich zur Vervollkommnung meiner Studien wieder nach Leipzig zurück.

Ungedüngt | S + K ; S P

(vergl. Tabelle XII S. 40)

Wirkung der Volldüngung.

S + K ; S P | S + K + $\frac{SP}{2}$ | S + $\frac{K}{2}$ + S P | $\frac{S}{2}$ + K + S P | S + K | Ungedüngt

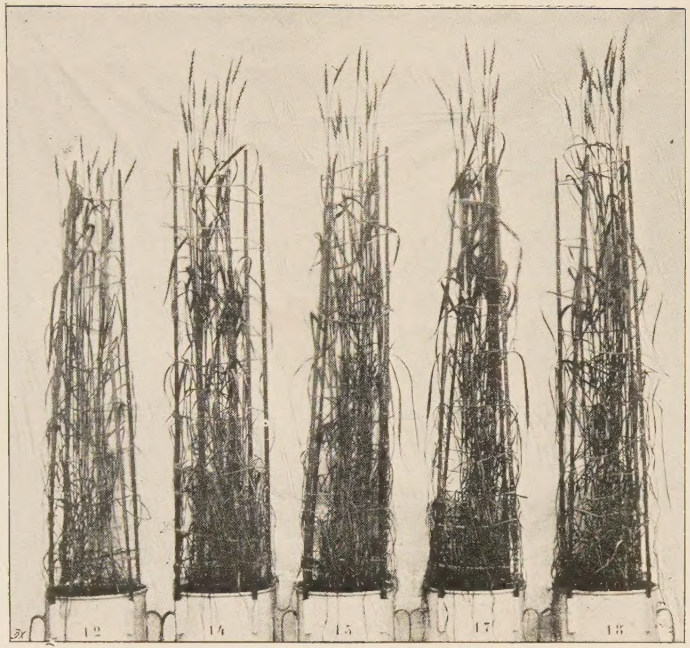
(vergl. Tabelle XII, XII a–d S. 40. 41. 42)

Wirkung der Volldüngung, bei halber Düngung mit S P, K, S $\left(\frac{SP}{2}, \frac{K}{2}, \frac{S}{2}\right)$

Wirkung des Fehlens von S P gegenüber „Ungedüngt"

S = 1,416 g Chilesalpeter pro Gefäß
K = 0,508 „ Kalisalz „ „
S P 1,888 „ Superphosphat „ „

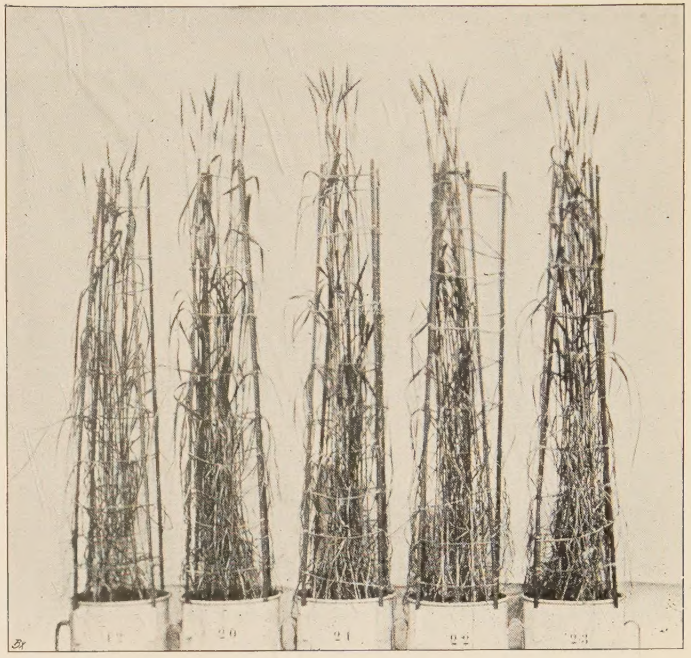
Ca 20 g Kalk pro Gefäß
S $\frac{1}{2}$ 0,508 g Chilesalpeter pro Gefäß usw.



S + K | S + $\frac{K}{2}$ + SP | S + SP

(vergl. Tabelle XIIc S. 42)

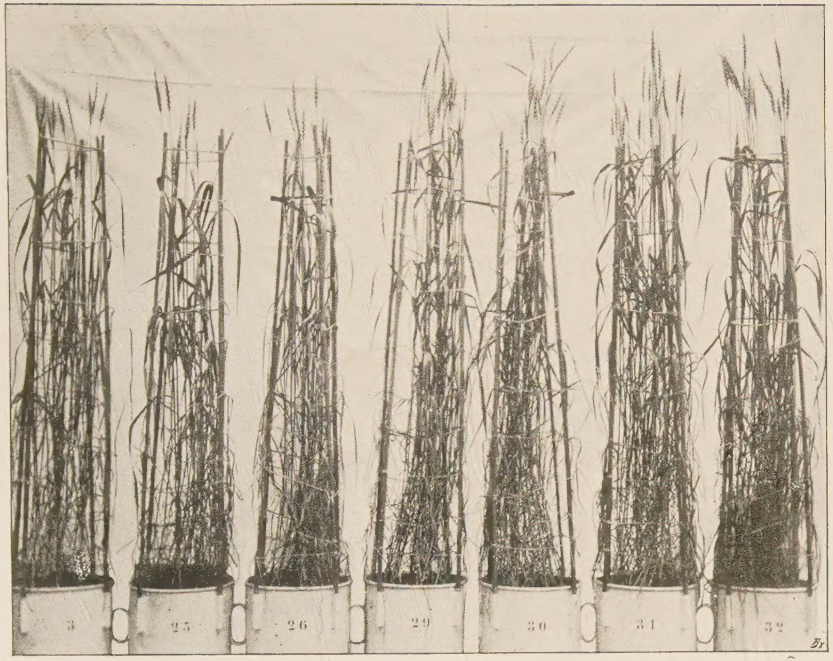
Wirkung der SP- und der K-Düngung



S + K | $\frac{S}{2}$ + K + SP | K + SP

(vergl. Tabelle XIIb und d S. 41, 42)

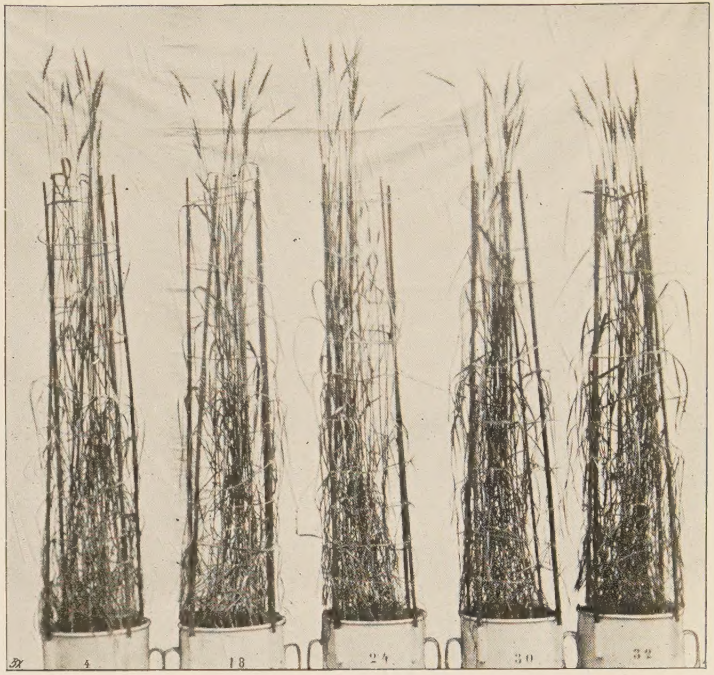
Wirkung der SP- und der S-Düngung




Ungedüngt (vergl. Tabelle XII) — Ca — S P + Ca — S + K + S P + Ca

(vergl. Tabelle XIII)

Wirkung der Kalk-Düngung (S. 43)




S + K + S P — S + S P — K + S P

(vergl. Tabelle XII c und d S. 42)

Wirkung der S- und der K-Düngung

S P + Ca — S + K + SP + Ca

(vergl. Tabelle XIII S. 43)

Wirkung der Volldüngung mit Ca gegenüber der S P-Düngung mit Ca

S + K + S P — — — S + K + SP + Ca

(vergl. Tab. XIIIb S. 44)

Wirkung der Volldüngung ohne Ca gegenüber der Volldüngung mit Ca